

# PATENT COOPERATION TREATY

EO/US  
PCT/EP98/05158

**PCT**

## NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

United States Patent and Trademark  
Office  
(Box PCT)  
Crystal Plaza 2  
Washington, DC 20231  
ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

in its capacity as elected Office

Date of mailing:

25 February 1999 (25.02.99)

International application No.:

PCT/EP98/05158

Applicant's or agent's file reference:

B 1074-PCT

International filing date:

13 August 1998 (13.08.98)

Priority date:

13 August 1997 (13.08.97)

Applicant:

BIERWIRTH, Friedhelm

1. The designated Office is hereby notified of its election made:



in the demand filed with the International preliminary Examining Authority on:

16 December 1998 (16.12.98)



in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:

2. The election ☒ was



was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

The International Bureau of WIPO  
34, chemin des Colombettes  
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No.: (41-22) 740.14.35

Authorized officer:

J. Zahra

Telephone No.: (41-22) 338.83.38

PATENT COOPERATION TREATY

From the INTERNATIONAL BUREAU

NOTIFICATION OF THE RECORDING  
OF A CHANGE

(PCT Rule 92bis.1 and  
Administrative Instructions, Section 422)

To:

RAUSCH, Michael  
Stenger, Watzke & Ring  
Kaiser-Friedrich-Ring 70  
D-40547 Düsseldorf  
ALLEMAGNE

Date of mailing (day/month/year) 02 March 2000 (02.03.00)	IMPORTANT NOTIFICATION
Applicant's or agent's file reference B 1074-PCT	
International application No. PCT/EP98/05158	International filing date (day/month/year) 13 August 1998 (13.08.98)

1. The following indications appeared on record concerning:									
<input type="checkbox"/> the applicant	<input type="checkbox"/> the inventor <input checked="" type="checkbox"/> the agent <input type="checkbox"/> the common representative								
Name and Address MENGES, Rolf Ackmann & Menges Postfach 14 04 31 D-80454 München Germany	<table border="1"> <tr> <td>State of Nationality</td> <td>State of Residence</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Telephone No.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Facsimile No.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Teleprinter No.</td> </tr> </table>	State of Nationality	State of Residence	Telephone No.		Facsimile No.		Teleprinter No.	
State of Nationality	State of Residence								
Telephone No.									
Facsimile No.									
Teleprinter No.									
2. The International Bureau hereby notifies the applicant that the following change has been recorded concerning:									
<input checked="" type="checkbox"/> the person <input checked="" type="checkbox"/> the name <input checked="" type="checkbox"/> the address <input type="checkbox"/> the nationality <input type="checkbox"/> the residence									
Name and Address RAUSCH, Michael Stenger, Watzke & Ring Kaiser-Friedrich-Ring 70 D-40547 Düsseldorf Germany	<table border="1"> <tr> <td>State of Nationality</td> <td>State of Residence</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Telephone No. 0211 57 21 31</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Facsimile No. 0211 58 82 25</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Teleprinter No.</td> </tr> </table>	State of Nationality	State of Residence	Telephone No. 0211 57 21 31		Facsimile No. 0211 58 82 25		Teleprinter No.	
State of Nationality	State of Residence								
Telephone No. 0211 57 21 31									
Facsimile No. 0211 58 82 25									
Teleprinter No.									
3. Further observations, if necessary: <b>A power of attorney in favor of the new agent is required.</b>									
4. A copy of this notification has been sent to:									
<input checked="" type="checkbox"/> the receiving Office <input type="checkbox"/> the designated Offices concerned <input type="checkbox"/> the International Searching Authority <input checked="" type="checkbox"/> the elected Offices concerned <input type="checkbox"/> the International Preliminary Examining Authority <input checked="" type="checkbox"/> other: MENGES, Rolf									

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Authorized officer Beate Giffo-Schmitt Telephone No.: (41-22) 338.83.38
---	---

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT  
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts <b>B 1074-PCT</b>	<b>WEITERES VORGEHEN</b> siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen <b>PCT/EP 98/05158</b>	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) <b>13/08/1998</b>	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) <b>13/08/1997</b>
Anmelder  <b>BIERWIRTH, Friedhelm</b>		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 2 Blätter.

☒ Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nichtrecherchierbar erwiesen (siehe Feld I).
2. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).
3. ☐ In der internationalen Anmeldung ist ein Protokoll einer Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz offenbart; die internationale Recherche wurde auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt,
  - ☐ das zusammen mit der internationalen Anmeldung eingereicht wurde.
  - ☐ das vom Anmelder getrennt von der internationalen Anmeldung vorgelegt wurde,
    - ☐ dem jedoch keine Erklärung beigelegt war, daß der Inhalt des Protokolls nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung in der eingereichten Fassung hinausgeht.
  - ☐ das von der Internationalen Recherchenbehörde in die ordnungsgemäße Form übertragen wurde.
4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung
  - ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
  - ☐ wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt.
5. Hinsichtlich der Zusammenfassung
  - ☒ wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.
  - ☐ wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der Feld III angegebenen Fassung von dieser Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Internationalen Recherchenbehörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.
6. Folgende Abbildung der Zeichnungen ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen:  
Abb. Nr. 1
  - ☒ wie vom Anmelder vorgeschlagen
  - ☐ weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.
  - ☐ weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.☐ keine der Abb.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 E04H9/02 E02D27/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 E04H E02D F16F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 328 648 A (KALPINS) 11. Mai 1982	2
A	in der Anmeldung erwähnt	
A	siehe Spalte 4, Zeile 19 - Spalte 7, Zeile 16; Abbildungen 1-11	6,7
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 018, no. 677 (M-1727), 20. Dezember 1994 & JP 06 264960 A (KAJIMA CORP), 20. September 1994 siehe Zusammenfassung	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,

eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

24. November 1998

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

01/12/1998

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kergueno, J

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 98/05158

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4328648	A	11-05-1982	NONE
<hr/>			

# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

Absender: MIT DER INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN  
PRÜFUNG BEAUFTRAGTE BEHÖRDE

An:

Menges, R.  
ACKMANN & MENGES  
Postfach 14 04 31  
D-80454 München  
ALLEMAGNE

## PCT

MITTEILUNG ÜBER DIE ÜBERSENDUNG  
DES INTERNATIONALEN VORLÄUFIGEN  
PRÜFUNGSBERICHTS  
(Regel 71.1 PCT)

Absendedatum  
(Tag/Monat/Jahr)

03.12.1999

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts  
B 1074-PCT

WICHTIGE MITTEILUNG

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP98/05158

Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr)  
13/08/1998

Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr)  
13/08/1997

Anmelder

BIERWIRTH, Friedhelm

1. Dem Anmelder wird mitgeteilt, daß ihm die mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde hiermit den zu der internationalen Anmeldung erstellten internationalen vorläufigen Prüfungsbericht, gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen, übermittelt.
2. Eine Kopie des Berichts wird - gegebenenfalls mit den dazugehörigen Anlagen - dem Internationalen Büro zur Weiterleitung an alle ausgewählten Ämter übermittelt.
3. Auf Wunsch eines ausgewählten Amtes wird das Internationale Büro eine Übersetzung des Berichts (jedoch nicht der Anlagen) ins Englische anfertigen und diesem Amt übermitteln.

#### 4. ERINNERUNG

Zum Eintritt in die nationale Phase hat der Anmelder vor jedem ausgewählten Amt innerhalb von 30 Monaten ab dem Prioritätsdatum (oder in manchen Ämtern noch später) bestimmte Handlungen (Einreichung von Übersetzungen und Entrichtung nationaler Gebühren) vorzunehmen (Artikel 39 (1)) (siehe auch die durch das Internationale Büro im Formblatt PCT/IB/301 übermittelte Information).

Ist einem ausgewählten Amt eine Übersetzung der internationalen Anmeldung zu übermitteln, so muß diese Übersetzung auch Übersetzungen aller Anlagen zum internationalen vorläufigen Prüfungsbericht enthalten. Es ist Aufgabe des Anmelders, solche Übersetzungen anzufertigen und den betroffenen ausgewählten Ämtern direkt zuzuleiten.

Weitere Einzelheiten zu den maßgebenden Fristen und Erfordernissen der ausgewählten Ämter sind Band II des PCT-Leitfadens für Anmelder zu entnehmen.

Name und Postanschrift der mit der internationalen Prüfung  
beauftragten Behörde

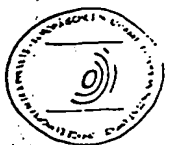


Europäisches Patentamt - P.B. 5818 Patentaan 2  
NL-2230 HV Rijswijk - Pays Bas  
Tel. +31 70 340 - 2040 Tx: 31 651 epo nl  
Fax: +31 70 340 - 3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Daniels, H

Tel. +31 70 340-3718



# INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP98/05158

## I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigelegt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):

### Beschreibung, Seiten:

1-7,9-13,15,16,19, eingegangen am 31/12/1998 mit Schreiben vom 30/12/1998  
22-27,30,35-37,39-42,  
46

17,18,20,21,28,29, eingegangen am 24/03/1999 mit Schreiben vom 24/03/1999  
31-34,38,43-45

8,14 eingegangen am 08/11/1999 mit Schreiben vom 08/11/1999

### Patentansprüche, Nr.:

3-29 eingegangen am 24/03/1999 mit Schreiben vom 24/03/1999

1,2 eingegangen am 08/11/1999 mit Schreiben vom 08/11/1999

### Zeichnungen, Blätter:

1/70,2/70,6/70,8/70, eingegangen am 31/12/1998 mit Schreiben vom 30/12/1998  
9/70,14/70,20/70,  
23/70-26/70,29/70-34/70,  
42/70-51/70,  
54/70-70/70

3/70-5/70,7/70,10/70-13/70, eingegangen am 24/03/1999  
mit Schreiben vom 24/03/1999

15/70-19/70,21/70,  
22/70,27/70,28/70,  
35/70-41/70,52/70,  
53/70

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung, Seiten:  
☐ Ansprüche, Nr.:  
☐ Zeichnungen, Blatt:

## Zu Punkt I

### Grundlage des Berichts

1. Die erste, unnummerierte Seite der Anmeldungsunterlagen (Gliederung), eingereicht mit Schreiben vom 30.12.1998, wird nicht als Teil der Beschreibung gemäß Regel 5.1 betrachtet und ist deswegen nicht den Anlagen beigelegt.
2. Die beantragte Abänderung der veröffentlichten Zusammenfassung kann nicht berücksichtigt werden, da sie gemäß Regel 66.5 PCT nicht als Änderung gilt. Die Übersetzung der Zusammenfassung wird unter der Verantwortung des Internationalen Büros angefertigt (Regel 48.3 c) PCT).

## Zu Punkt V

Begründete Feststellung nach Regel 66.2(a)(ii) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1.1 Die US-A-4328648 beschreibt (vgl. insb. Fig 11) ein Verfahren zum Schutz von Objekten, insbesondere Gebäuden vor dynamischen Kräften aus Beschleunigungen einer Basis, z.B. bei Erdbeben, wobei in einem das Objekt tragenden System die Wirkung von stabilen, in jeder horizontalen Richtung pendelnd schwingfähigen, die Objektmasse anhebenden (bzw. absenkenden) Stützelementen (44) in der Weise durch Koppelung überlagert wird, daß bei wechselnder horizontaler Bewegung der Basis z.B. bei Erdbeben unter dem Einfluß einer Deplacierung der mit der Basis verbundenen Stützpunkte (34) der Stützelemente gegenüber der Lage der trägen Masse des Objekts eine Anhebung (demzufolge Absenkung) der Objektmasse auf den Stützelementen (40) auf den Koppelgliedern - bzw. auf den kombinierten Stütz- und Koppelgliedern - erfolgt, wodurch aufgrund einer Neigung der relativ zur Basis räumlichen Bewegungsbahn der Stützpunkte (34) eine in die Richtung der Ruhelage stabilisierende Rückstellkraft (70) durch die der Gravitation ausgesetzte Objektmasse entsteht, woraus bei Auftreten von hohen Querschleunigungen an der Basis eine geringe Objektbeschleunigung mit eigener Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.



# Reflections - Macle

kein  
Kopfe.  
Linn

2.3 Aus der JP-A-6264960 ist es bekannt, ein Objekt (6) mit einem Koppellement (3,5) zu verbinden, das seinerseits über pendelnd gelagerte Stützelemente (2), die es miteinander koppelt, an einer schwingenden Basis (7) abgestützt ist, und wobei die Dimensionierung und Anordnung der Stützelemente (2) in ihrer Ausgangslage so getroffen ist, daß das Koppellement (3,5) mit den an ihm angelenkten Stützelementen (2) ein virtuelles Pendel darstellt, das für einen Verbindungspunkt des Objekts mit dem Koppellement eine vergleichbare Bewegungsform ergibt, wie sie das freie Ende eines sehr langen Pendels, d.h. um ein Mehrfaches länger als die Pendellänge jedes Stützelementes, beschreibt. Anders formuliert ist die Bewegungsform des Verbindungs-

Lagerung is, nicht entspricht (vgl. dazu "stützpunkt (P) im Anspruch 1).

(c) Der Begriff "sehr langen (Pendel)" hat eine anerkannte Bedeutung nur relativ zur jeweiligen Länge der pendelnd gelagerten Stützelemente.

*länger als  
tatsächlich  
vorhanden*

31.12.98

Die Anwendung der vorliegenden Erfindung verringert die Gefahr der Bodenverflüssigung, die bei Erdbeben und bestimmten Bau-Untergründen auftreten kann, in hohem Maße, weil die reaktive Wirkung der Gebäudemasse auf den Untergrund bei Bodenschwingungen auf extrem geringe Werte reduziert wird.

- 5 Die Wirkung einer Explosion in der Nähe eines durch ein System entsprechend der vorliegenden Erfindung gestützten Objekts wird ebenfalls gemindert.

Hängende Objekte wie Beleuchtungseinrichtungen, von denen Brandgefahren und Gefährdungspotential ausgehen, lassen sich durch Aufhängung an virtuellen Pendeln auch vor Beschädigung oder Zerstörung schützen.

- 10 Objekte auf Pfählen und Masten, die durch Erdbeben auch gefährdet sind, können durch das erfindungsgemäße Verfahren auch geschützt werden.

Schwingungstilgung an Türmen, hohen Masten und Industrie-Kaminen durch aktiv oder passiv bewegte Massen läßt sich ebenfalls vorteilhaft mittels virtueller Pendel erreichen.

- 15 Das Erdbebenschutz-Modul auf der Basis virtueller Pendel ist ein Basis-Isolations-System, eine kompakte, passiv wirkende, lasttragende Vorrichtung, die im Untergeschoß oder Erdgeschoß eines Gebäudes eingebaut wird. Das System verhindert die Übertragung von Schwingungen und Stößen des Erdbodens auf das gestützte Objekt bei Erdbeben. Durch das Erdbebenschutz-Modul wird ein Gebäude von allen Bewegungen des Untergrunds entkoppelt.

- 20 Zusätzlich hat das System folgende Charakteristiken: Es zentriert sich selbst und erlaubt keine horizontalen Verschiebungen durch geringere Kräfte, die durch Wind oder Sturm verursacht werden. Für hohe Gebäude verhindert vertikale Steifheit eine Nickneigung. Bei Gebäuden bis zu einem bestimmten Verhältnis von Höhe zu Breite kann wahlweise eine weitere Komponente eingebaut werden, um auch vertikale Schwingungen zu absorbieren.
- 25 Das System kann für jede notwendige horizontale Schwingamplitude ausgelegt werden. Das Erdbebenschutz-Modul läßt sich wartungsfrei gestalten.

- Bei geringer Bauhöhe ermöglicht ein solches Erdbebenschutz-Modul dem getragenen Objekt eine große Schwingweite in allen Richtungen und hat eine lange Periodendauer der Eigenschwingung. Die maximal auf den Baukörper oder das getragene Objekt einwirkenden
- 30 Beschleunigungen werden reduziert auf Werte kleiner als  $0,01g$ . Dies ist mathematisch ermittelt und das System danach auslegbar. Die Erwartungen wurden durch Modell-Versuche auf einem Rütteltisch auf Anhieb bestätigt.

- In einem extrem starken Erdbeben, wie sie gelegentlich auch in gewissen Regionen vorkommen, reicht der Schutz bisheriger Schutzsysteme und der konventionellen Design-
- 35 Methoden entsprechend den Bauvorschriften nicht aus, Zerstörungen sind beträchtlich.

- Im Gegensatz hierzu hat bei Anwendung des Erdbebenschutz-Systems auf der Basis virtueller Pendel die Magnitude eines Bebens, die Schwingweite und die Schwingfrequenz des Bodens keinen Einfluß auf das Verhalten des Systems und die geradezu ruhende Lage eines durch die neuen Erdbebenschutz-Module mit langer Periodendauer der
- 40 Eigenschwingung getragenen Objekts.

31.12.98

Hierbei werden zunehmend besonders Möglichkeiten berücksichtigt, die darauf abzielen, in bestimmten Bereichen der Gebäudestruktur Elastizitäten vorzusehen, wodurch bei elastischen Verformungen der Gebäudetragstruktur die Kräfte, die durch die Struktur zu übertragen sind, örtlich gemindert werden können, dadurch daß die darüber befindlichen Masseanteile des Gebäudes durch die elastischen Verformungen gegenüber der einleitenden Bewegung zurückbleiben und hierdurch die Spitzenwerte der Beschleunigungen reduziert werden.

Bei einem Erdbeben, bei dem die den Bauvorschriften zugrundeliegenden Belastungswerte überschritten werden, ist Beschädigung oder Zerstörung der Gebäude und Gefahr für Menschenleben zu erwarten, wie Erdbebenvorkommnisse der letzten Zeit deutlich gezeigt haben.

Man muß somit feststellen, daß die Methoden der erdbebensicheren Auslegung der Gebäude durch entsprechende Berechnung und Dimensionierung bei stärkeren Beben unzureichend sind.

Nach den Erdbebensicherheits-Bauvorschriften werden sogenannte Referenzbeben definiert, für die nach den Methoden der Auslegungsberechnung eine Sicherheit für die zugrundegelegten Lastfälle nachgewiesen werden muß.

Die hierbei zu treffenden Annahmen bezüglich des Gebäudeverhaltens und der Struktur-Elastizitäten haben einen hohen Grad an Unsicherheit.

Die diesen Referenzbeben zugrundeliegenden Beschleunigungen werden bei realen Beben häufig überschritten, mitunter auch erheblich.

Eine Auslegung auf solche Extremfälle wäre ohnehin technisch nicht durchführbar. Bei Extrembeben versagen alle konventionell gestalteten Strukturen.

Die bisherige Meinung der Fachwelt, daß die zerstörerischen Einflüsse der Erdbodenbewegungen und der hierdurch einwirkenden Kräfte auf ein Bauwerk durch eine äußerst feste Konstruktion oder durch Anwendung von elastischen und schwingungsdämpfenden Gliedern ausgeschaltet werden können, hat sich augenscheinlich nicht bestätigt.

Auch die Vorstellung, daß durch Reibung bzw. Dämpfung ein schädlicher Einfluß aus der Erdbebenbewegung gemindert werden kann, erscheint aussichtslos.

Die Berechnungsmethoden nach den gesetzlichen Baunormen gehen von stark vereinfachten Lastfall-Modellen aus. Diese vereinfachten Verfahren liefern auch ungenügende Genauigkeit der Resultate. Es ist auch nicht möglich, durch Analyse herauszufinden, welches Bauteil als erstes versagen wird und damit ein Einstürzen des Gebäudes einleitet. Diese Auslegungsberechnungsmethoden für Gebäude können allenfalls dazu dienen, daß in jeweiligen Regionen regelmäßig wiederkehrende schwache Erdbeben von den Gebäuden ohne gefährdende Schädigungen ertragen werden.

Die Schlußfolgerung daraus ist, daß diese Methoden unzureichend sind, wirklich erdbebensichere Gebäude zu erstellen.

3 1 12. 98

Eine Gruppe von technischen Lösungen, die zu Fundament- oder Basis-Isolationssystemen gehören, ermöglichen dem Baukörper gegenüber der Basis eine Beweglichkeit in gewissen Grenzen. Alle Lösungen übertragen durch Reibung und Dämpfungskräfte in das getragene Gebäude Schubkräfte, die bei hohen Frequenzen und großen Schwingweiten auch kritisch werden können. Einige dieser Lösungen übertragen keine negativen Vertikalkräfte und sind damit nicht für schlanke Hochbauten und Türme geeignet.

Bei einer Art der Fundament-Isolation wird der Baukörper auf horizontal elastischen Blöcken gelagert, die aus horizontal geschichteten Lamellen aus wechselweise Stahl und Kautschuk bestehen. ( US-Patents 4,527,365 ; 4,599,834 ; 4,513,502 ) Diese Blöcke haben vertikal eine hohe Lastaufnahmefähigkeit und ermöglichen horizontal eine Verschiebbarkeit der oberen gegenüber der unteren Platte des Isolationsblocks, haben aber horizontal einen sehr begrenzten Hub der Beweglichkeit. Mit zunehmender Verschiebung aus der Mittellage nimmt die Steilheit der Federkennung zu, es erfolgt eine Versteifung der Blöcke mit Wirkung auf die Gebäudestruktur durch Anstieg der Schubkraft, die von der Basis auf den Baukörper übertragen wird. Hierdurch können in Extremfällen auch durch die Versteifung der Gummiblöcke Schäden an Struktur und Interieur entstehen.

Diese Blöcke haben bei starken Erdbeben den Nachteil eines horizontal zu geringen Hubs in der seitlichen Beweglichkeit, wodurch auch noch Gefährdungen des Bauwerks auftreten können. Außerdem sind diese Elastikblöcke nicht in der Lage, nennenswerte negative Vertikallasten aufzunehmen. Es besteht die Gefahr des Abreißens.

Bei Lagerung von Gebäuden auf solchen horizontal elastischen Blöcken werden die Spitzenwerte der Beschleunigungen gemindert durch Federung und Dämpfung. Die Übertragung der Bewegung des Bodens auf das Gebäude erfolgt dennoch in einem bestimmten Ausmaß. Übersteigt die horizontale Schwingamplitude des Bodens den seitlichen Federhub der horizontal elastischen Blöcke, so wird die Geschwindigkeit des Bodens in voller Größe durch die Stahl-Elastomer-Blöcke auf das gestützte Objekt übertragen und es besteht die Gefahr, daß die Blöcke zwischen den Stahllamellen abscheren.

Bei großen Schwingamplituden des Bodens können die Bewegungen des auf Elastomer-Blöcken gestützten Baukörpers erheblich sein, und die Bewegungen des Gebäudes in oberen Bereichen können durch eine Art Peitscheneffekt verstärkt werden.

Bei einer anderen Art von Fundament-Isolation wird der Baukörper auf der Basis über rollende oder gleitende Körper gestützt, die sich zwischen zwei konkaven Platten oder einer ebenen und einer konkaven Platte bewegen können, so daß dieser Stützpunkt des Gebäudes auf der oberen Platte sich bewegt wie an einem Pendel aufgehängt. ( US Patents 4,644,714 ; 4,881,350 ) Diese Vorrichtungen übertragen keine Negativkräfte und sind nicht zur Aufnahme von Kräftepaaren aus Biegemomenten am Bauwerk geeignet.

Bei der Abstützung über Rollkörper ergeben sich Probleme im Hinblick auf die damit verbundenen hohen Hertz'schen Pressungen an den Berührungsflächen. Hierdurch werden besondere Anforderungen an die Materialien und die Oberflächen der beteiligten Bauteile gestellt. Außerdem können bei dieser Art der Abstützung keine negativen Kräfte übertragen werden.

Die mögliche Nähe der Resonanzschwingung zu möglicher Schwingung des Erdbeben-Antwortspektrums lassen große Amplitudenverstärkungen in oberen Gebäudeteilen aufkommen.

5 Hierdurch ist es möglich, daß die von solchen Vorrichtungen getragenen Baukörper mit der entsprechenden Frequenz in verstärktes Schwingen geraten.

Bei solchen Vorgängen sind auch noch Gebäudeschäden möglich, und die Gefahr bleibt bestehen, daß bewegliche Einrichtungsgegenstände innerhalb des Gebäudes hin und her geschleudert werden und damit auch Schäden und Gefährdungen von Personen herbeiführen können.

### 10 3.4 Abgrenzung der neuen Lösung zum Stand der Technik

Bei besonders starken Erdbeben, mitunter BigShake oder MegaShake genannt, wird der Schutz der bekannten Schutzsysteme und aller anderen konventionellen Design-Methoden entsprechend den Bauvorschriften nicht ausreichend sein und sie werden versagen. Zerstörungen und die Anzahl von Todesopfern können katastrophale Ausmaße annehmen.  
15 Es hat Beben mit mehreren Hunderttausend Toten gegeben.

Bekannte Lösungen der Basisisolation ermöglichen der Gebäudestruktur gegenüber der Basis eine Verschiebbarkeit in engen Grenzen. Mit größer werdenden Schwingamplituden nimmt bei bekannten Schutzsystemen der Grad der Impuls-Reduktion ab. Bei Extrembeben besteht die Möglichkeit des Versagens.

20 Abgrenzend von bekannten Erdbebenschutz-Systemen ist die erfindungsgemäße Lösung weder eine Roll-, Gleit- oder Elastomer-Vorrichtung, die Energie absorbiert oder wegleitet, es ist ein Impuls nicht weiterleitendes System, das freie Bewegung gegenüber der Basis in jeder Richtung zuläßt, es erfolgt keine Energieabsorption oder -verteilung. Die erfindungsgemäße Lösung bewirkt, daß keine Übertragung der Bodenbewegung und kein Energietransfer auf  
25 das Gebäude erfolgt.

Die Erfindung, wie durch die Ansprüche definiert, zeichnet sich dadurch aus, daß horizontale Erdbebenschwingungen der Basis nicht auf das Bauwerk übertragen werden, das Objekt der oszillierenden Erdbebenbewegung der Basis nicht mehr folgen kann und das Gebäude in Ruhelage bleibt. Erdbebenschäden werden effektiv verhütet.

30 Die Erdbebenfrequenz und die Eigenfrequenz der von virtuellen Pendeln getragenen Struktur sind so weit entkoppelt, daß die Bewegung des Bodens nicht auf die gestützte Struktur übertragen werden kann. Das Prinzip ist ohne Änderung des Verhaltens voll wirksam bei jeder Erdbeben-Schwingfrequenz. Aus der in Ruhelage verbleibenden getragenen Masse wirken keine Reaktionskräfte aus Beschleunigungen auf die  
35 Gebäudestruktur zurück. Es entstehen keine Beschädigungen an dem Gebäude oder dem Interieur, selbst bei dem denkbar stärksten Erdbeben.

Dagegen übertragen elastomere Lager und reibungsbehaftete Gleitlager doch noch nicht geringe Schubkräfte in die Gebäudestruktur, was im Extremfall auch kritisch werden kann.

31.12.98

Ein solcherart geschütztes schlankes Hochhaus erfährt keinen Peitscheneffekt durch Erdbeben, keine Fenster bersten, im Innern fliegen keine Einrichtungsgegenstände umher.

5 Aufgrund seines Design-Prinzips ist ein Hochhaus mit dieser Technologie ebenso stabil und robust wie ein konventionell konstruiertes Stahl-Skelett-Bauwerk mit dem zusätzlichen Vorzug, daß es die Bodenbewegungen nicht mitmacht und somit keine Verformungen mit Ausbaubeschädigungen erfährt und somit perfekte Erdbebensicherheit erhält.

10 Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, Gebäude und Objekte auf Stützvorrichtungen zu lagern, die für den Laststützpunkt eine Bewegungsmöglichkeit herstellen wie das untere Ende eines Pendels mit langer Periodendauer und somit ein virtuelles Pendel darstellt, wird seismische Sicherheit auf ein Niveau von Perfektion gebracht.

Maximale Bewegungsauslenkungen bei bekannten Isolatoren sind bei starken Erdbeben nicht ausreichend. Werden diese Werte überschritten, kann das Gebäude beschädigt oder zerstört werden.

15 Selbst nahe dem Epicenter starker Beben, wo große Schwingweiten des Bodens vorkommen können, die alle bisher existierenden Schutzsysteme überfordern können, bietet das erfindungsgemäße System Sicherheit, weil es für größte Schwingamplituden ausgelegt werden kann.

20 Das System der vorliegenden Erfindung erfüllt eine hohe Schutzfunktion, indem die von der Basis auf das Gebäude übertragbare horizontale Beschleunigung auf bedeutungslose Werte von weniger als 0,01 g begrenzt wird.

Mit diesem Leistungsvermögen und der Systemcharakteristik bietet die hier dargestellte Erdbebenschutz-Technologie im Vergleich zur bereits vorhandenen Technik einzigartige vorteilhafte Eigenschaften.

Es ist kein weiteres Verfahren bekannt, welches vergleichbares Verhalten bewirkt.

25 Mit diesem neuen revolutionierenden Prinzip ist der Durchbruch zur Lösung des weltweiten Problems gelungen, der Bedrohung durch Erdbeben erfolgreich zu begegnen.

#### 4 Übersicht der Erfindung

30 Die Erfindung stellt ein Basis-Isolations-System dar und ist eine kompakte, passiv wirkende, lasttragende Vorrichtung, die im Fundament oder Erdgeschoß eines Gebäudes eingebaut wird. Das System verhindert die Übertragung von Schwingungen und Stößen des Erdbodens auf das gestützte Objekt.

Das geschützte Gebäude wird durch die neuartige Tragkonstruktion vollständig von der horizontalen Bewegung des Bodens isoliert, die Eigenschwingung des Objekts von der schwingenden Basis dissonant entkoppelt.

35 Erdbebenschäden werden effektiv verhütet. Das Prinzip des virtuellen Pendels ist wirksam bei jeder Erdbeben-Schwingfrequenz und jeder Erdbeben-Basisbeschleunigung und kann für jede erforderliche Schwingamplitude ausgelegt werden.

31.12.98

## 4.2 Deduktion zur Lösung der sich stellenden Aufgabe

Vorab dienen die folgenden grundsätzlichen Betrachtungen zur Herleitung der angestrebten Lösung des Problems.

Ausgangspunkt der Überlegung ist die Aufhängung einer Masse an Pendeln.

- 5 FIG.5 Die Masse 1 wirkt wie eine Punktmasse am unteren Ende des Pendels. Wird die am unteren Ende des Pendels angreifende Masse 1 um einen Betrag  $e$  aus ihrer statischen Ruhelage verschoben, so erfährt sie gleichzeitig eine Anhebung um den Betrag  $h$ , weil das Pendel 2 mit der Länge  $l$  mit dem unteren Pendelende 3 einen Kreis um den oberen Aufhängepunkt 4 mit dem Radius  $r = l$  beschreibt. Da die Bewegungen in jeder Richtung
- 10 zweiachsig erfolgen können, beschreibt das untere Pendelende, der Aufhängepunkt der Masse eine von oben gesehen konkave sphärische Fläche.

- Die Anhebung der Masse 1 um den Betrag  $h$  führt dazu, daß die Masse eine höhere potentielle Energie erhält. Bei Verschwinden der Krafteinwirkung, die zur Auslenkung der Masse 1 um den Betrag  $e$  und zur Anhebung der Masse um den Betrag  $h$  geführt hat,
- 15 bewirken die Zugkraft im Pendel 2 und die Kraft aus der Erdgravitation und der Masse ( $m \cdot g$ ) eine resultierende Rückstellkraft  $R$ , welche die Masse am Pendelende 3 in die mittlere Ruhelage zurückführt. Hierbei überschwingt die Masse 1 die Ruhelage, und durch Reibungsdämpfung kommt das Schwingen zum Stillstand.

- Die gleichen Relationen treten auf, wenn nicht die Masse aus ihrer Ruhelage bewegt
- 20 wird, sondern auch, wenn der obere Aufhängepunkt 4 des Pendels 2 über die Tragstruktur 5 durch seitliches Bewegen der Basis 6 verschoben wird. Hierdurch erfährt das Pendel zunächst eine Schrägstellung durch Zurückbleiben der aufgehängten Masse aufgrund der Trägheit, und die Masse wird hierbei angehoben. Die dann einsetzende Bewegung der Masse erfolgt nach dem Schwingverhalten des Pendels.

- 25 Hierbei ist die Kreisfrequenz der Schwingung

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (1)$$

$g$ .....Gravitationsbeschleunigung

$l$ .....Länge des Pendels

- Das Schwingverhalten des Pendels ist also ausschließlich durch die Pendellänge
- 30 bestimmt.

Die Pendelfrequenz ist

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\sqrt{\frac{g}{l}}}{2\pi} \quad (2)$$



Wird bei Deplacierung der Masse aus der Ausgangslage durch die vorgegebene Bewegungsbahn die potentielle Energie verringert, so strebt die Masse unter Einfluß der Gravitations-Beschleunigung einer weiteren Verringerung der potentiellen Energie zu.

Die Lage der Masse ist instabil.

- 5 Mit der Koppelung und Überlagerung beider Einflüsse, der stabilen und der labilen Masseverlagerung wird durch geeignete Wahl der geometrischen Größen der Koppelglieder erreicht, daß die resultierende Bewegung der Masse zu einer geringen Anhebung und nur geringfügigen Erhöhung der potentiellen Energie führt, woraus eine langsame Rückführung in die Ruhelage und somit eine lange Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.

- 10 Dies ist die Wirkung eines langen Pendels.

Wenn erfindungsgemäß physikalisch kein langes Pendel vorhanden ist, jedoch die Wirksamkeit eines langen Pendels mit langer Periodendauer erreicht wird, so ist hier die Rede von einem virtuellen Pendel langer Periodendauer.

- 15 Das sogenannte virtuelle Pendel hat bei geringer Bauhöhe jedoch die Wirksamkeit eines langen Pendels mit langer Periodendauer der Eigenschwingung.

- 20 Wenn nun bei einer konstruktiv verfügbaren Raumhöhe und einer davon abhängigen Länge  $l$  des Pendels 2 die Anhebung  $h$  zu groß wird, so muß die Anhebung durch additive Überlagerung eines negativen Wertes also einer Absenkung verringert und dadurch eine resultierende geringe Anhebung erreicht werden, die dem Zielergebnis entspricht. Dies ist möglich, wenn man ein stabiles, hängendes Pendel und instabiles stehendes Pendel in geeigneter Weise miteinander koppelt und bei einer horizontalen Auslenkung der gekoppelten Stützglieder deren jeweiligen vertikalen Hübe, der einmal positiv und einmal negativ ist, addiert.

- 25 Da der Hubverlauf beider Stützglieder über der horizontalen Auslenkung harmonisch verläuft, weil sie unmittelbar von einer Kreisfunktion abhängen, so ist die Differenz beider Vertikalhübe ebenfalls über der horizontalen Auslenkung im Verlauf harmonisch, was der Anwendung des Prinzips für die Zielsetzung entgegenkommt.

FIG.6 veranschaulicht diesen Zusammenhang. Der Massepunkt 3 des stabilen Pendels 2 mit der Länge  $l$  erfährt bei der horizontalen Auslenkung  $e$  die Anhebung  $h$ .

$$h = l \left( 1 - \arctg \frac{e}{l} \right) \quad (4)$$

- 30 Das obere Ende des stehenden instabilen Pendels 7 mit der Länge  $l_s$  wird über der horizontalen Auslenkung  $e_s$  und den Betrag  $s$  vertikal abgesenkt.

$$s = l_s \left( 1 - \arctg \frac{e_s}{l_s} \right) \quad (5)$$

Werden die Vertikalbewegungen beider Stützglieder addiert, erfolgt eine resultierende Anhebung mit dem Betrag  $h_{res}$ .

- 35 Die Relationen von  $\alpha : \beta$  und  $e : e_s$  werden beeinflusst von der Art der benutzten Koppelung und der frei wählbaren Relation von  $l : l_s$ .

31.12.98

Dies wird beeinflusst von der Wahl der Größen und der Verhältnisse zueinander von  $l_s, l_h, c$  und dem Verhältnis  $a$  zu  $b$ . Eine geringere Länge  $l_h$  des hängenden Pendels, Stützelement 2 führt bei gleichem Pendelausschlag  $e$  zu einer größeren Anhebung  $h$  des Pendelendes. Eine Vergrößerung der Länge  $l_s$  des stehenden Pendels, Stützelement 7 führt bei gleicher Auslenkung  $e$  zu einer Verringerung der Absenkung  $s$ . Die Wahl der Lage des Punktes  $P$  auf dem Koppellement 8 mit der Länge  $c$  im Teilungsverhältnis  $a$  zu  $b$  erfolgt so, daß die Anhebung des Punktes  $P$  bei der Auslenkung  $e$  des hängenden Pendels, Stützelement 2 in jedem Fall positiv wird aber minimal bleibt. Wird das Koppellement 8 durch entsprechende Lagerung daran gehindert, sich um die Hochachse  $H$  zu drehen, so gelten die bis jetzt gemachten Betrachtungen gleichermaßen auch, wenn das Pendeln der Stützelemente 2 und 7 sich in einer anderen Richtung ereignet, wie FIG.10, welche die Situation in der Draufsicht zeigt, veranschaulicht.

FIG.10 Das Koppellement 8 ist in fest mit der getragenen Masse verbundenen Lagern  $B$  drehbar um die Achse  $Q$  gelagert und dadurch an einer Drehung um die Hochachse  $H$  gehindert. Das freie Ende des hängenden Pendels, Stützelement 2 beschreibt eine von oben gesehen konkave sphärische Fläche  $K$ . Das stehende Pendel, Stützelement 7 beschreibt in der Draufsicht eine von oben gesehen konvexe Sphäre  $V$ . Bei Auslenkung des freien Endes des hängenden Pendels, Stützelement 2 um einen Betrag  $e$  in jedwelcher Richtung wird der Punkt  $P$  des Koppellements 8 und somit die Achse  $Q$  in gleicher Weise angehoben wie bei einer Auslenkung in Richtung der  $X$ -Achse.

Der Gelenkpunkt des Koppellements 8 am Stützelement 7 erfährt ebenso eine Absenkung in jedwelcher Richtung der Auslenkung der Pendel, Stützelemente 2 und 7 wie in der Richtung der  $X$ -Achse. Damit erfährt der Punkt  $P$  auf dem Koppellement 8 bei einer Auslenkung der gekoppelten Pendel in jedwelcher Richtung eine Anhebung.

Wie FIG.9 zeigt, bewegt sich der Punkt  $P$  wie der freie Endpunkt eines hängenden langen Pendels mit der Länge  $l_v$ , er stellt das freie Ende eines virtuellen Pendels großer Länge dar.

FIG.11 Bei einer Auslenkung  $e$  des Koppellements 8 in FIG.9 aus der Ruhelage um den Betrag  $e$  und einer Anhebung des Punktes  $P$  um den Wert  $h_p$ , wird nach FIG.11 die Länge des virtuellen Pendels

$$l_v = \frac{e^2 + h_p^2}{2h_p} \quad (6)$$

Die Kreisfrequenz des virtuellen Pendels ist

$$\omega = \sqrt{\frac{2g \cdot h_p}{e^2 + h_p^2}} \quad (7)$$

Die Pendelfrequenz des virtuellen Pendels ist

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g \cdot h_p}{e^2 + h_p^2}} \quad (8)$$

Die Magnitude eines Bebens hat keinen Einfluß auf die geradezu ruhende Lage eines durch virtuelle Pendel großer wirksamer Pendellänge und langer Periodendauer getragenen Baukörpers.

5 FIG.13 entspricht im Grundprinzip der Lösung nach FIG.9 und FIG.12. Hierbei wird jedoch der Hebel mit der Wirklänge  $b$  von dem Hebel mit der Länge  $a$  getrennt und erhält eine eigene einachsige Lagerung in höherer Position an der Laststütze  $W_L$ , die anteilig die getragene Masse  $m$  stützt.

10 Bei dieser Lösung nehmen das hängende stabile Stützelement Pendel 2 und das stehende labile Stützelement Pendel 7 mit ihren jeweiligen Wirklängen  $l_h$  und  $l_s$  einen größeren Anteil von der verfügbaren Raumhöhe in Anspruch. Dadurch wird erreicht, daß bei gleich großem maximalen Winkelausschlag der zweiachsig gelenkig gelagerten Stützelemente 2 und 7 die verfügbare horizontale Schwingweite des Systems in Relation zur vertikalen Raumhöhe vergrößert wird.

15 Der Träger, Koppellement 8, wird über die Koppelstütze 8<sub>1</sub>, die beidseitig einachsig gelenkig gelagert ist, mit dem Träger, Koppellement 8<sub>2</sub>, verbunden, das seinerseits einachsig gelenkig an der Laststütze gelagert ist und sich zweiachsig gelenkig gelagert auf dem labilen Stützelement, dem stehenden Pendel 7, abstützt. Das Bewegungsverhalten entspricht dem Schema nach FIG.9 und FIG.12.

20 FIG.14 und FIG.15 zeigen in zwei Richtungen die Schwingweitenmöglichkeit der getragenen Masse gegenüber der Basis.

FIG.16 zeigt die Schwingmöglichkeit des getragenen Objekts gegenüber der Basis in drei Bewegungsphasen mit einem Schwinghub  $S$ .

25 FIG.17 stellt dar, wie bei einem Schwinghub  $S$  der Basis 6 und des mit der Basis verbundenen virtuellen Lagerpunkts des virtuellen Pendels das stabile Stützelement, das hängende Pendel 2, durch die Pendelschwenkbewegung den unteren Laststützpunkt um den Betrag  $h$  anhebt und wie das labile Stützelement, das stehende Pendel 7, den oberen Laststützpunkt um den Betrag  $s$  absenkt, während das getragene Objekt 1 eine Anhebung  $h_p$ , entsprechend der Hubbewegung des virtuellen Pendels  $P_v$ , erfährt.

30 FIG.18 Bei diesem Beispiel wird ein System mit einem Koppellement 9 in der Form eines Dreiecks betrachtet.

FIG.19 zeigt die Draufsicht des Systems nach FIG.18. Das dreieckige Koppellement 9 ist an drei schräg unter einem Winkel  $\delta$  angeordneten an drei Stützpunkten 10 an der Basis 6 zweiachsig gelenkig aufgehängten Stützelementen 11 zweiachsig gelenkig gelagert.

35 Wird an einer Seite des Koppellements 9 ein Stützelement 11 an seinem unteren Gelenkpunkt 12 angehoben, dadurch daß sein oberer Stützpunkt 10 durch Verschiebung der Basis 6 vom Zentrum des Koppellements 9 weg nach außen verschoben wird, und dadurch, daß das Koppellement 9 wegen seines Beharrungsvermögens und der im Zentrum 13 auf dem Koppellement 9 abgestützten Masse eines Objekts gegenüber der Bewegung der Basis 6 zurückbleibt, so werden über das Koppellement 9 auf seiner gegenüberliegenden  
40 Seite die unteren Gelenkpunkte 12 der angelenkten Stützelemente 11 aufgrund der Schrägstellung in der Ausgangslage der Stützelemente 11 abgesenkt.

Die Wahl der Größe  $l_p$  wird begrenzt durch die Höhe, bei welcher das System instabil wird. Die Vorrichtung nach FIG.21 stellt ein virtuelles Pendel dar zur zweiachsig gelenkig gelagerten Abstützung eines Objekts im Punkt P, so als wenn das Objekt an einem langen Pendel mit der Länge  $l_p$  beziehungsweise  $p$  aufgehängt wäre, mit der Bewegungsfähigkeit auf einer gekrümmten Fläche mit dem Krümmungsradius  $p$ .

Mit  $e$  und  $h_p$  aus den Gleichungen (14) und (15) wird die Länge des virtuellen Pendels aus der Beziehung nach Gleichung (6) bestimmt.

Des weiteren gelten die Gleichungen (7) bis (11).

Die Stützelemente 11 können ebenso bei annähernd gleicher Wirksamkeit auch aus Seilstrukturen bestehen und dabei auf gelenkige Aufhängungen verzichten, sofern die Stützelemente 11 bei allen Belastungsfällen nur durch Zugkräfte belastet werden.

Dieser Laststützpunkt an den Erdbebenschutz-Modulen hat eine räumliche Bewegungsmöglichkeit, als wäre er das untere Ende eines sehr langen Pendels. Er bewegt sich also in einer flach gewölbten virtuellen sphärischen Schale.

In dieser Schale strebt der Laststützpunkt immer der tiefsten Stelle, dem Zentrum der Schale zu.

Je flacher die Schale gekrümmt ist, umso geringer ist die aus der Erdanziehung hervorgerufene Rückstellkraft zur Mitte hin und umso langsamer bewegt sich der Laststützpunkt in Richtung zum Zentrum.

FIG.22 zeigt ein weiteres Beispiel eines nach im Anspruch 1 definierten Verfahren gestalteten virtuellen Pendels.

An mit der Basis 6 verbundenen Tragstrukturen 5 werden mindestens zwei oder mehrere zweiachsig gelenkig gelagerte stabile Stützelemente, vertikal parallel hängende Pendel 2 gehalten, die einen an ihrem unteren Ende gelagerten Träger, oder ein Plattform-Koppelement 8 tragen.

Im Zentrum des Koppelements 8 ist ein in einem Vertikallast aufnehmenden Lager 59 gehaltenes vertikales Stützelement 14 angeordnet, das sich an seinem unteren Ende um zwei waagerechte Achsen schwenkbar in einem Gelenklager 43 axial verschiebbar, horizontal abstützt. In diesem Gelenklager 43 kann das vertikale Stützelement 14 um horizontale Achsen kippen.

Das Zentrum des Lagers 59 hat die gleiche räumliche Bewegungsfähigkeit wie die unteren Enden der hängenden Pendel 2 mit der Länge  $l_p$  und erfährt bei horizontaler Auslenkung  $e$  eine Anhebung um den Betrag  $h$ .

Das obere Ende des vertikalen Stützelements 14 erfährt in Einheit mit seiner Lagerung im Lager 59 die Anhebung  $h$ , der sich gleichzeitig die Absenkung  $s_o$  überlagert. Die resultierende Anhebung ist  $h_{res} = h - s_o$ .

In dem Beispiel der FIG.22 wird für das obere Ende des Stützelements 14 die resultierende Anhebung negativ, es erfolgt also eine Absenkung. Dieser obere Punkt wäre somit als Laststützpunkt ungeeignet.

31.12.98

#### 4.3 Ergebnis der Problemlösung

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Schritten gemäß Anspruch 1 und die daraus abgeleiteten und beschriebenen Vorrichtungen gelöst.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung bilden die Gegenstände der Unteransprüche.

- 5 Die Erfindung gewährleistet eine Resonanzfreiheit des Gebäudes bei Bodenschwingungen durch Erdbebenbewegungen, wobei die horizontalen Beschleunigungs- und Stoßkräfte aus der Bewegung des Bodens nicht mehr auf den Gebäudekörper übertragen werden. Dies stellt damit einen integralen Erdbebenschutz sicher, der auch bei stärksten horizontalen Bodenschwingungen den Baukörper oder das Objekt zuverlässig
- 10 schützt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es bei entsprechender Wahl der Auslegungsparameter möglich, ein Verhalten des gestützten Objekts zu erzielen, daß es nahezu in Ruhelage verbleibt, auch wenn der Boden mit großen Amplituden und hohen Beschleunigungen sich bewegt.

- 15 Das zur Anwendung gelangende Verfahren bewirkt, daß die Periode der Eigenschwingung so verlängert wird, daß die damit verbundene Bewegungsträgheit dazu führt, daß das Objekt der oszillierenden Erdbebenbewegung der Basis nicht mehr folgen kann. Der Schutz der Objekte ist hierbei so weitgehend, daß die zu schützenden Gebäude oder Anlagen in Ruhelage bleiben, selbst bei Beben größter Magnitude.

- 20 Die Wirksamkeit ist mathematisch transparent nachweisbar.

Die Funktion der Erfindung und der integrale Schutz konnte bereits durch Modell-Simulation mit Beschleunigungen bis 1,2 g demonstriert werden.

- 25 Somit wird das Objekt gegenüber der horizontalen Bewegung des Bodens vollständig isoliert, es handelt sich also um eine wirkungsvolle Basis-Isolation durch Abstützung über eine Tragstruktur, die bei geringer eigener Bauhöhe an den Stützpunkten dem getragenen Objekt die räumliche Bewegung ermöglicht, als hinge es an sehr langen Pendeln. Die Abstützung erfolgt somit über virtuelle Pendel langer Periodendauer.

- 30 Die Auslegungsparameter sind in weiten Grenzen wählbar. Hierdurch kann der Unterschied zwischen der Frequenz der Eigenschwingung des Systems und den Frequenzen üblicher Erdbebenschwingung frei bestimmt und so groß gewählt werden, daß die Schwingssysteme des Gebäudes und der Basis weitestgehend entkoppelt werden, so daß die getragene Struktur in Ruhelage verbleibt.

- 35 Da der Baukörper den schnell wechselnden Bewegungen des Bodens nicht folgt, werden auch keine aus Beschleunigungen hervorgerufenen Massenkräfte wirksam. Es entstehen keine gefährlichen Schubspannungen und Erdbebenschäden werden verhütet.

Erdbebenschutz-Module in Form virtueller Pendel bieten einen effektiven Schutz selbst gegen Erdbeben mit größter Magnitude und mit dem größten Zerstörungspotential. Erstmals ist es möglich, jede Art von Gebäuden auch Hochhäuser und andere Strukturen völlig erdbebensicher zu planen und ebenso bestehende Objekte nachzurüsten.

31.12.98

#### 4.4 Stark verringerte Reibung bei horizontaler Verschiebung

Bei der vorliegenden Erfindung wird die physikalisch vorhandene Reibung an den Lagerstellen der Strukturelemente der konstruktiven Lösung, bedingt durch den prinzipiellen Aufbau der Problemlösung nur stark reduziert wirksam bei der effektiven Reibung, die als Verschiebewiderstand der bewegten Masse in Erscheinung tritt.

Es stellt sich ein extrem niedriger effektiver Reibungskoeffizient ein. Hierdurch werden somit auch durch Reibung keine nennenswerten Beschleunigungskräfte von der Basis auf den getragenen Baukörper übertragen. Das Gebäude hat demzufolge somit auch eine leichte Verschiebbarkeit gegenüber der Basis. Windkräfte können das getragene Objekt aus seiner Mittellage des Bewegungsbereichs verschieben und damit in einer Richtung bei Auftreten von Basisverschiebung bei Erdbeben den verfügbaren Schwingausschlag relativ zur Basis verkürzen.

Die Konzeption der Tragstruktur der neuen Lösung führt dazu, daß die physikalisch wirksame Reibung durch einen hohen Reduktionsfaktor auf sehr geringe Werte reduziert wird. Der Verschiebewiderstand ist

$$W = m * g * \mu_{red} \quad (16)$$

erreichbar sind Werte:  $\mu_{red} = 0,002 \dots 0,004$

Hierdurch werden auch über die noch wirksame Reibung nur sehr geringe Kräfte zur Beschleunigung der gestützten Masse übertragen.

In keinem Fall darf durch diesen Einfluß der mögliche Schwingausschlag kleiner werden als die eventuelle Schwingamplitude eines Erdbebens oder gar zu Null werden.

Es ist also notwendig zur primären Aufgabe, das zu schützende Objekt von den Bodenbewegungen isoliert zu tragen, zusätzlich in die Gesamtlösung Elemente zu integrieren, welche die zentrierte Ausgangslage bei Einsetzen von Erdbebenschwingungen sicherstellen.

#### 4.5 Zentrierung des getragenen Objekts und Windkraftabstützung

Die Bewegung der Lagerpunkte des getragenen Objekts auf den Erdbebenschutzmodulen erfolgt in einer sehr flachen, von oben konkaven sphärischen Fläche, wobei die Sphäre keinen exakten Kugelschalenausschnitt darstellt, sondern nur näherungsweise. Die Krümmung der Fläche ist über der Auslenkung aus der Mittellage nicht konstant, was aber der Funktionalität des Systems keinen Abbruch tut. Aufgrund der Anhebung bei vollem Ausschlag erfolgt eine Rückstellkraft durch die Gravitation, wodurch eine selbstzentrierende Wirkung des Lagerpunktes bewirkt wird. Allerdings erfolgt die Rückführung in die Mitte nicht vollständig aufgrund der vorhandenen Reibung, obwohl sie sehr gering ist.

31.12.98

Die Konzeption der Erdbebenschutz-Module läßt es zu, daß die vorzusehenden Schwingweiten großzügig ausgelegt werden können, so daß im Falle von extremen Bodenbewegungen genügend Freiraum zum Schwingen relativ zur Basis vorhanden ist, auch wenn die Ausgangslage zur Schwingung nicht der Mittelpunkt war. So kann unter dem Einfluß von Driftung durch Windkräfte und durch das jeweilige Ausschwingen nach einem Beben die Position des Gebäudes verschieden sein. Wo dies nicht stören würde, könnte man ohne eine zusätzliche Zentrierung des Gebäudes und Abstützung gegen Windkräfte auskommen. Wo aber die Forderung besteht, daß das Gebäude immer auf dem gleichen Punkt ruht, ist eine zusätzliche Einrichtung zur exakteren Zentrierung notwendig.

FIG.25 zeigt eine einfache Lösung einer Horizontal-Abstützung. Eine solche Vorrichtung wird an mindestens zwei Stellen des Gebäudes benötigt, kann aber auch in die einzelnen Erdbebenschutz-Module integriert werden.

Eine vorgespannte Zugfeder 41 ist mit ihrem unteren Ende mit der Basis verbunden. An ihrem oberen Ende trägt die Zugfeder den Zapfen 42, der in ein sphärisches Gelenklager 43 axial verschiebbar hineinragt, welches fest mit der getragenen Struktur verbunden ist. Die Zugfeder 41 ist soweit vorgespannt, daß die horizontale Hebelkraft in der Höhe des Gelenklagers 43 der maximal erwartbaren Windkraft entgegenwirkt, ohne daß durch Biegung der Zugfeder 41 und Abheben der Windungen auf einer Seite der Feder der Zapfen 42 eine Schrägstellung erfährt. Erfolgt jedoch eine horizontale Bewegung der Basis gegenüber der getragenen Gebäudemasse durch ein Erdbeben mit einer hohen Beschleunigung, wodurch ein Impuls aus der Gebäudemasse entsteht, der die Wirkung von Windlast deutlich übersteigt, so wird durch das hervorgerufene Moment über den Hebel des Zapfens 42 die Feder 41 gebogen. Die Basis erfährt gegenüber dem Gebäude eine Verlagerung. Bei weiterer Verschiebung nach Überwindung dieses Anfangsmoments nimmt die Größe der Kraft nicht mehr linear, sondern degressiv zu. Auf diese Weise wird die Reaktionskraft aus der Feder über den Schwinghub  $S$  klein gehalten.

Diese Horizontal-Abstützung kann auch in umgekehrter Anordnung Anwendung finden, wobei das Gelenklager 43 mit der Basis 6 verbunden oder in dem Fundament bündig eingelassen ist, und das Ende des Zapfens 42 mit der Feder 41 hängend an einer getragenen Gebäudestruktur 51 befestigt ist.

FIG.26 zeigt eine vergleichbare Lösung zur Zentrierung des Gebäudes mit einem Federblock 48 aus Elastomer-Werkstoff. Bei entsprechender Dimensionierung des Federblocks ist das Verhalten vergleichbar mit der Lösung in FIG.25. Nur ist kein ausgeprägtes Losbrechmoment wirksam. Von Anfang an erfolgt die Bewegung stetig in Abhängigkeit von der Horizontalkraft. Die umgedrehte Anordnung ist auch bei dieser Ausführung möglich.

FIG.27 zeigt eine Vorrichtung zur Zentrierung des Gebäudes, bei der eine Haltevorrichtung 50 sich an mindestens zwei Punkten fest verbunden unter der getragenen Gebäudestruktur 51 befindet. Eine in einem Kugelbett 49 gelagerte Rollkugel 44 wird in einen Zentriertrichter 45 durch eine Feder 47 mit der Vertikalkraft  $F_v$  gedrückt, die mit der maximal

ausgebildet sein können, und verdichten auf der anderen Seite der Membran 28 ein Gas, Luft oder Stickstoff. Damit wirkt der Hydraulik-Zylinder wie eine Federstütze mit Gasfederung. Ist die Kolbenstange voll ausgefahren gegen den mechanischen Anschlag im Zylinder 40, so befindet sich ein über die Kolbenstange gesteuertes Regelventil 29 in Öffnungsstellung. Der Gasdruck in den Akkumulatoren drückt das Fluid durch die Drosselblende 30 über das geöffnete Ventil in den Rücklauf zum Vorratsbehälter 32. Wird die Kolbenstange durch die Annäherung der Fundamentwand 20 an das Untergeschoß 22 des Gebäudekörpers in den Zylinder eingefahren, so wird das Regelventil 29 geöffnet und aus der Druckleitung 33 gelangt Fluid in die Hydraulik-Akkumulatoren 127, so daß sich ein Druck aufbaut solange, bis die daraus resultierende Kraft im Zylinder die Kolbenstange ausfährt und den Gebäudekörper wieder in seine Nullstellung bringt. Somit wird das Gebäude in seine Mittelstellung gebracht. Dieser Vorgang ist wirksam, wenn durch Windkraft das Gebäude wegen seiner leichten Verschiebbarkeit gegenüber der Basis aus seiner Mittelstellung geschoben wird. Da die Windkräfte sich nicht sprunghaft ändern, sondern zum Auf- und Abbau immer eine gewisse Zeit notwendig ist, ist der Vorgang mit dem Zufluß und Abfluß von Fluid über die Drosselblende hinreichend schnell, um den Regelvorgang beim Sollwert, das heißt, das Gebäude in der Mittelstellung zu halten. Erfolgt die Annäherung der Basiswand an das Gebäude in schnellerer Folge, wie dies beim Erdbeben der Fall sein würde, so sind mit dem schnellen Einfedern des Kolbens und damit Öffnen und jeweils Schließen des Ventils in schneller Folge über die Drosselblende 30 die Zu- und Abflüsse von Fluid in das Luftfeder-System und wieder heraus gering. Die Gasfederkraft im Zylinder 40, die mit der jeweiligen Luftkraft zunächst in Balance war, variiert durch die flache Federkennung und das Ein- und Ausströmen durch die Drosselblende 30 in der Frequenz des Bebens bei Bewegungen des Kolbens und des Regelventils 29 nur gering. Das System kann so ausgelegt werden, daß diese zur Beschleunigung wirksam werdenden Kräfte so klein bleiben, daß sie bezogen auf die Gebäudemasse nur sehr geringe wirksame Beschleunigungen in schneller Folge im Wechsel der Frequenz des Bebens zur Folge haben. Das Hydraulik-System wird zentral versorgt aus einem Vorratsbehälter 32 und über eine Pumpe 36, die von einem Motor 34 angetrieben wird, der über einen Druckregelschalter 35 gesteuert wird. Die Energieversorgung für den Antrieb könnte autonom durch Solar- oder Windenergie bereitgestellt werden. Die Hydraulik-Energie wird in einer Batterie von Hydraulik-Druckspeichern 38 gepuffert, so daß die Leistung der Pumpe 36 gering gehalten werden kann. Während eines Bebens steht reichlich externe Energie zur Verfügung, die in dieser Anlage gleichzeitig genutzt werden kann, so daß in einer Variante der Kolben der Horizontalabstützung mit einer Kolbenpumpe 37 kombiniert wird. Während der schnellen Bewegung der Basis gegenüber dem Baukörper fördert somit diese Kolbenpumpe 37 Fluid aus dem Vorratsbehälter 32 in die Druckspeicher 38 und deckt damit den Massenstrom ab, der dadurch entsteht, daß Fluid aus dem Federungssystem, bestehend aus Zylinder 40 und Akkumulator 127, über die Drosselblende 30 durch das mit der Frequenz des Bebens während einer Halbschwingung öffnende Regelventil 29 in den Rücklauf fließt.

Fig.29 zeigt eine Horizontalabstützung über eine Schwinge 39. Mit einer solchen Ausführung sind besonders große Schwingausschläge und Abstandsänderungen zur Fundamentwand möglich. Die Schwinge 39 ist an einem am Gebäudekörper befestigten Gestell 46 gelagert und über einen Zylinder 40 oder mehrere Zylinder an der Gebäudewand des Untergeschosses 22 abgestützt und trägt am Ende ein Rollenfahrwerk mit einer oder je nach Abstützungslast mehreren Rollen 25, die sich auf einer Lamellen-Laufbahn 26 an der



Da dieser Gebäudeteil 22 besonders reibungsarm und selbstzentrierend gelagert und keiner Winddrift ausgesetzt ist, benötigt er auch keine Windkraft-Haltevorrichtung, ist immer in seiner Mittelstellung auch bei schwingender Basis und dient als Lage-Referenz für die Zentrierung. Durch mechanische oder berührungslose Distanzmessung in zwei Achsen  
5 zwischen jeweils zwei Referenzpunkten 60 am jeweils oberen und unteren Gebäudeteil wird die Stellgröße für die Regelung der Windkraft-Haltevorrichtung 27 ermittelt.

#### 4.6 Vertikale Schwingungsisolation des gestützten Objekts

Für Bauwerke mit einem bestimmten Verhältnis der Höhe zur Breite, bei denen keine gravierende Kippneigung der Gebäude-Hochachse besteht, kann eine zusätzliche  
10 Einrichtung vorgesehen werden, um vertikale Beschleunigungen zu reduzieren oder weitgehend zu eliminieren.

Dies wäre vorteilhaft bei Krankenhäusern und Industrieeinrichtungen mit empfindlichen Produktionsprozessen und bei Chemie- und Nuklearanlagen.

Ein mit dieser Technologie gestütztes Gebäude bleibt nahezu still im Raum stehen.

15 Die Massenträgheit des Gebäudes gegenüber den Beschleunigungen der horizontal schwingenden Basis ruft als Reaktion Schubkräfte in der Gebäudestruktur hervor, die bei Erdbeben häufig zur Überschreitung der in den Baustoffen ertragbaren Schubspannungen führen. Die durch die Horizontalschwingungen bedingten Scherkräfte sind hauptsächlich Ursache für das Versagen der Gebäudestruktur. Dagegen werden vertikale  
20 Beschleunigungen von einem Gebäude eher, ohne Schaden zu nehmen, ertragen, weil bei der Festigkeitsauslegung eines Gebäudes den statischen Eigen- und Betriebslasten über einen Sicherheitsfaktor oder Werkstoff-Anstrengungsgrad ein Lastvielfaches hinzugerechnet wird. Somit resultiert aus der Vertikalbeschleunigung der Basis im allgemeinen keine Strukturgefährdung, es sei denn, daß bei Überschreiten von 1g-Vertikalbeschleunigung bei  
25 ungenügender Befestigung das Objekt aus seiner Fundamentverankerung gerissen wird und durch weitere Einflüsse geschädigt wird.

Wird dennoch eine vertikale Schwingungsdämpfung als zweckmäßig erachtet, so kann das Erdbebenschutz-Modul mit einer zusätzlichen Vertikal-Federung ausgerüstet werden.

FIG.32 zeigt schematisch ein Beispiel einer Federung der getragenen  
30 Gebäudestruktur 51. Die Gebäudestütze 16 ist als Hydraulikzylinder 64 mit integriertem Niveauregelschieber 61 ausgebildet und trägt auf der Kolbenstange 62 die Traglast. Am unteren Ende des Zylinders ist das Koppellement 8 des Erdbebenschutz-Moduls einachsrig gelenkig gelagert. Die Schwinghebel 63 wirken als Drehsicherung für den auf- und abgleitenden Zylinder 64, damit das Koppellement 8 keine Drehung um die Vertikalachse  
35 machen kann.

Der Zufluß des Fluids erfolgt über den Druckanschluß 65, über den Rückfluß 66 wird der Fluid-Kreis der Federungsstütze entlastet. Der Zylinderdruckraum 67 ist über den Leitungsanschluß 68 mit einem oder mehreren Hydraulik-Druckspeichern 38 verbunden. Mit dem Volumen der Hydraulik-Druckspeicher wird die hydropneumatische Federkennung  
40 bestimmt.

FIG.35a stellt einen Querschnitt zur Fig.35 dar und

FIG.35b zeigt die Draufsicht.

Der Mast trägt am oberen Ende vier Tragarme 73, von denen je zwei Arme einen Holm 74 tragen, an deren vier Enden jeweils ein hängendes Pendel 2 zweiachsig gelenkig befestigt ist.

Der Träger 72 wird über zwei Stützen 75 auf zwei Koppелеlementen 8 einachsig gelenkig gelagert. Die Koppелеlemente 8 hängen zweiachsig gelenkig gelagert an zwei Pendeln 2 und werden an einem dritten Punkt zweiachsig gelenkig gelagert von einem stehenden Pendel 7 gestützt, das mit seinem unteren Ende zweiachsig gelenkig auf dem oberen Ende des Mastes gelagert ist. Die Stützelemente, Pendel 2 und Pendel 7 sind räumlich geneigt so angeordnet, daß bei Neigung der Achse des oberen Mastendes von der Vertikalen weg der Träger 72 in etwa in waagerechter Position bleibt. Durch Schwingungsentkopplung des Trägers 72 mit seinen Traglasten von der von der Basis angeregten Schwingung des Mastes wirken die getragenen Massen nicht mit Reaktionskräften auf den Mast zurück und vermindern seine Belastung.

FIG.36 stellt eine Schwingungsisolation zum Erdbebenschutz für eine Beleuchtungseinheit auf einem Pfahl 71 dar, bei dem ein virtuelles Pendel nach dem Prinzip gemäß schematischer Darstellung in FIG.21 Verwendung findet.

Am oberen Pfahlende sind drei Haltearme 76 in diesem Beispiel in Form eines Ringes, die jeweils am oberen Scheitelpunkt an einem zweiachsig gelenkigen Lager ein Stützelement 11, ein schräg angeordnetes Pendel tragen. Am unteren Gelenkpunkt 12 wird ein Koppелеlement 9 gestützt, das in vertikaler Draufsicht FIG.36a als dreistrahligter Stern erscheint. Das Koppелеlement 9 trägt an seiner Spitze in einer kardanischen Lagerung 77 einen Stützkörper 78, an dem drei oder mehr Speichen 79 angeordnet sind, die mit einem Ring 80 verbunden sind, der mehrere Lampen 81 trägt.

Die Pendel 11 können auch wie in FIG.36b als Seil ausgeführt sein.

Ein elastisches Wellrohr stellt die elektrische Durchführung für die Verbindung zwischen Pfahl 71 und Lampen 81 her.

FIG.37 zeigt ein zweites Beispiel der Anwendung eines virtuellen Pendels nach dem in FIG.21 dargestellten Prinzip für die Schwingungsentkoppelung eines Lampenträgers 82 vom schwingenden Pfahl 71, dessen Eigenschwingung der Basisschwingung des Bodens überlagert ist.

Der Pfahl 71 trägt am oberen Ende drei Haltearme 76 an denen jeweils Pendel 11 entweder als starres Stützelement mit zweiachsig gelenkigen Lagern an beiden Enden gestaltet oder als einfache Seilstruktur ausgebildet, ein Koppелеlement 9 in Form eines Dreibeins tragen, das an einer kardanischen Lagerung 77 einen hängenden Stützkörper 78 trägt, der fest mit drei Haltearmen 82 als Lampenträger verbunden ist.

FIG.42 Die Leuchten 87 sind in Reihe an jeweils zwei virtuellen Pendeln nach dem Schema gemäß FIG.11 aufgehängt. Das stabile Stützelement 2 ist ein an der Decke aufgehängtes Pendel in Form eines zweiachsig gelenkig befestigten Stabes, Seils oder Kette und stützt ein Ende des Kopppelements 8. Eine Tragstruktur 5 aus vier Gliedern in Form von Stäben, Seilen oder Ketten, die an der Decke befestigt, wie die Kanten einer umgedreht hängenden Pyramide angeordnet sind, bilden den Stützpunkt 88 für den unteren zweiachsig gelenkigen Lagerpunkt des instabilen Stützelements 7, das am oberen Ende zweiachsig gelenkig mit dem anderen Ende des Kopppelements 8 verbunden ist. Am Kopppelement 8 hängt einachsig gelenkig gelagert die Laststütze 89, an der vertikal federnd die Leuchte 87 aufgehängt ist.

#### 4.9 Schwingungstilgung durch Massen an virtuellen Pendeln

Hochhäuser, schlanke Türme, hohe Masten und Kamine werden durch Erdbeben und starken Wind zu Querschwingungen angeregt, die kritische Auswirkungen haben können. Um die mit der Verformung einhergehenden Ausschlagspannungen zu mindern und Materialermüdung vorzubeugen, werden sehr wirkungsvoll Schwingungstilger benutzt, die die Schwingweite zu verringern. Hierbei werden Zusatzmassen am Kopf des Bauwerks oder bei schlanken Kaminen und abgespannten Masten an Stellen, wo die größten Schwingamplituden auftreten, eigenschwingfähig angeordnet und mit dem Gebäude über federnde Stützglieder und Dämpfer verbunden oder durch aktive Systeme bewegt, um über die Antriebsreaktionskräfte der Zusatzmasse der Schwingungstilger der Eigenbewegung des Gebäudes entgegenzuwirken.

Für die Stützung dieser Zusatzmassen lassen sich virtuelle Pendel vorteilhaft einsetzen. Bei geringstem Raumbedarf lassen sich virtuelle Pendel in einfacher Weise für jede gewünschte Eigenfrequenz der gestützten Tilger-Masse durch freie Wahl der Auslegungsparameter-Relationen gestalten.

Bei aktiv angetriebenen Schwingungstilgern ist bei Verwendung virtueller Pendel die sehr geringe Reibung der Masse-Aufhängung und die beliebig gestaltbare Eigenschwing-Periode von Vorteil.

FIG.43 stellt einen passiven Schwingungstilger in einem Turm dar. Drei virtuelle Pendel  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.11 stützen die Tilger-Masse 90. Federnde Dämpfer 91 stützen die Masse horizontal gegen die Gebäudemasse ab.

FIG.44 Das dargestellte aktive Schwingungstilger-System besteht aus der Tilger-Masse 90, die von drei virtuellen Pendeln  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.11 gestützt wird. Die Referenz-Masse 92 ist auf drei virtuellen Pendeln gestützt nach dem Prinzip entsprechend FIG.9, die sehr reibungsarm und mit geringer Mittellage-Hysterese und sehr langer Eigenschwing-Periode ausgelegt sind.

Sensoren 93 für die Lageerfassung der weitgehend in beiden Horizontalachsen von der Bewegung der Gebäudestruktur abgekoppelten Referenz-Masse 92 in Bezug auf die Gebäudelage liefert über eine Regelung die Stellgröße für die Bewegung der Tilger-Masse 90 über Aktuatoren 94.

Pendel wird die Massen-Reaktionskraft des Gebäudes auf 3/1000 reduziert. Liquefaction wird in Grenzfällen verhindert.

Bei horizontalen Schwingungen des Bodens wird der statischen Last im Fundament ein mit der Schwingung synchron die Richtung wechselndes Kräftepaar überlagert zur Aufnahme des Gebäudekippmoments aus der Beschleunigung der Gebäudemasse.

Die wechselnde Zusatzlast an den Fundamentkanten aus der Beschleunigung der Gebäudemasse ist

$$L_a = m \cdot a \cdot \frac{h_m}{W} \quad (24)$$

$m$  ..... Masse des Gebäudes

$a$  ..... Beschleunigung im Schwerpunkt des Gebäudes

$h_m$  ..... Höhe des Schwerpunkts des Gebäudes über der Fundament-Kippkante

$W$  ..... größter Abstand der Fundament-Kippkanten in Richtung der Bodenschwingung

Die wechselnden Bodenpressungen erzeugen in feuchten Böden eine Pumpwirkung auf das Wasser im Boden. Hierdurch wird die Haftreibung zwischen den Bodenkörpern wie Sand und Kies durch pulsierende Flotation zwischen den Körpern verringert, der Boden wird zu einem viskosen Fluid, der Boden wird zu einem Brei verflüssigt.

Gebäude können im Boden versinken und bei Unsymmetrie der Vorgänge auch umkippen.

Bei der erfindungsgemäßen Stützung von Objekten tritt die voran dargestellte Reaktionswirkung der getragenen Masse nicht auf, weil sie keiner nennenswerten Beschleunigung ausgesetzt wird. Die statischen Fundamentlasten werden nicht mit Wechsellasten aus Kippmomenten überlagert. Die Gefahr der Bodenverflüssigung wird in hohem Maße verringert.

FIG.49 Damit auch bei sehr weichen und nassen Böden die Gefahr für das durch virtuelle Pendel  $P_v$  erdbebengeschützte Gebäude weiter vermindert wird, ist das Fundament als Basis für Erdbebenschutz-Module so gestaltet, daß das Volumen des im Boden eingebetteten Gebäudeunterteils entsprechend der Massedichte des örtlichen Bodens in Leichtbaugestaltung rigide gestaltet und so groß bemessen ist, daß die Masse des verdrängten Bodens der Masse des Gesamtgebäudes entspricht.

Damit die mechanischen Krafteinwirkungen auf das Fundament durch Kompressionswellen im Boden gemindert werden, ist die Fundamentunterseite 100 gekrümmt zum Rand nach außen ansteigend gestaltet.

Innerhalb des Gebäudes stellen flexible Leitungsverbindungen in hängenden U-Schleifen 112 sicher, daß bei Relativbewegung zwischen schwingender Basis und schwingungs isoliert gestützter Gebäudestruktur 51 keine Leitungsschäden entstehen.

#### 4.13 Tolerierung von Bodenspaltbildung unter Gebäuden

- 5 Sogar im ungewöhnlichsten Fall, daß entlang einer Spalte direkt unter einem Gebäude beide Ränder sich in entgegengesetzter Richtung bewegen oder voneinander entfernen und eine offene Spalte hinterlassen, kann das System dies tolerieren, weil die Module unabhängig voneinander funktionieren und Veränderungen der Stützweite auf der Basis ausgleichen.
- 10 Das System stellt dennoch Stabilität der getragenen Struktur bereit.
- FIG.54 Der Teilungsabstand  $t$  der Gebäudestützen an der getragenen Gebäudestruktur 51 ist durch feste Montage unveränderlich. Der Teilungsabstand der Erdbebenschutz-Module 56 auf dem Fundament 20 entspricht dem Teilungsabstand am Gebäudeoberteil.
- 15 Kommt es durch Erdbeben-Kompressionswellen zu einer Spaltbildung zwischen den Erdbebenschutz-Modulen 56, so vergrößert sich die Stützweite der Erdbebenschutz-Module 56 um die Spaltbreite  $Sp$ . Die Erdbebenschutz-Module zentrieren als virtuelle Pendel wirkend den Laststützpunkt im Zentrum seiner Schwingweite unterhalb seines virtuellen Aufhängungspunkts.
- 20 Werden die Abstände der virtuellen Aufhängepunkte von zwei virtuellen Pendeln vergrößert, so nehmen die miteinander fest verbundenen Laststützpunkte eine ausgleichende Stellung ein, so daß die Abweichung vom ursprünglichen Mittellage-Punkt bei beiden virtuellen Pendeln gleich ist.

#### 4.14 Impact-Minderung bei Explosionen

- 25 Aufgrund des geringen Verschiebewiderstandes des getragenen Objekts gegenüber der Basis kann erfindungsgemäß das Gebäude oder Objekt bei Luftkräften, welche die Staudrücke stärkster Winde übersteigen, wie sie durch Explosionen in der Nähe eines Gebäudes hervorgerufen werden können, in jeder Richtung ausweichen und somit die Wirkung der Luftkraft-Momente verringern.
- 30 Die Windkraftabstützung stellt sich automatisch auf die Windkraft ein mit einer Regelstellgrößen-Änderungsgeschwindigkeit, die den Erfordernissen der Windkraft-änderungsrate entspricht.
- Ein Luftdruckanstieg aufgrund einer Explosion erfolgt in einer extrem kurzen Zeit, innerhalb der kein nennenswerter Anstieg der Abstützkraft für die Windkraftkompensation durch die selbsttätige Regelung erfolgt. Somit kann das Gebäude bei plötzlicher
- 35 Beaufschlagung mit einer Druckwelle bei geringer Gegenkraft zurückweichen, was den Impulsaustausch nicht unbeträchtlich verringert.

FIG.20 und FIG.21 zeigen in vereinfachter schematischer Darstellung eine Ergänzung zum Beispiel in FIG.18 und FIG.19 zur Erzielung einer großen virtuellen Pendellänge.

FIG.22 ist eine schematische Darstellung von Varianten virtueller Pendel.

FIG.23, 23a, 23b, 23c zeigen das Schema eines virtuellen Pendels und Bewegungsphasen.

5 FIG.24 zeigt die Relativbewegung der Basis zum virtuellen Pendel.

FIG.25 zeigt in einer prinzipiell ausführbaren Form eine Zentrier- und Windkraft-Haltervorrichtung für ein durch virtuelle Pendel getragenes Objekt.

FIG.26 ist die Darstellung einer Vorrichtung zur Zentrierung eines durch virtuelle Pendel getragenen Objekts mittels eines Federblocks aus elastomerem Werkstoff.

10 FIG.27 ist eine Zentrier- und Windkraft-Abstützvorrichtung für ein durch virtuelle Pendel gestütztes Objekt mittels einer Kugel, die durch Federkraft in einen Trichter gedrückt wird.

FIG.28 zeigt eine vereinfachte Darstellung eines Schemas für ein hydropneumatisch betätigtes System zur Zentrierung und Windkraftabstützung eines von virtuellen Pendeln getragenen Objekts.

15 FIG.29 zeigt eine Vorrichtung zur Zentrierung und Windkraftabstützung eines von virtuellen Pendeln getragenen Objekts mittels einer Schwinge, die sich durch hydropneumatische Federkraft an der mit der Basis verbundenen Fundamentseitenwand abstützt.

FIG.30 zeigt die gleiche Vorrichtung wie FIG.29 mit zusätzlicher Integration einer Hydraulik-Pumpe, die ihre Antriebsenergie aus der Bewegung der Basis bei Erdbeben bezieht.

20 FIG.31 zeigt ein System zur Gebäudezentrierung unter Windlast, wobei ein nicht dem Wind ausgesetzter Gebäudeteil als Lage-Referenz dient.

FIG.32 gibt schematisch eine Vertikalfederung zur Beschleunigungsminderung wieder.

FIG.33 stellt ein Erdbebenschutz-Modul dar mit Vertikalfederung und Windkrafthaltung.

25 FIG.34 zeigt elastische Verformungen bei kritischen Schwingungen an Laternenpfählen.

FIG.35 zeigt ein virtuelles Pendel auf einer Mastspitze.

FIG.35a ist ein Querschnitt zu FIG.35.

FIG.35b ist die Draufsicht zu FIG.35.

30 FIG.36, 36a, 36b, zeigen eine Lampengruppe auf einem Pfahl mit Schwingungsisolierung durch ein virtuelles Pendel und Details.

FIG.37 – FIG.39 zeigen Varianten von schwingungs isolierten Laternen auf Pfählen.

FIG.58 ist ein Erdbebenschutz-Modul wie in FIG.55, kombiniert mit einem Elastomer-Block als Zentrierfeder.

5 FIG.59 zeigt ein Erdbebenschutz-Modul mit ebenerdigem Einbau als Vorrichtung zum Tragen von Gebäuden und Objekten mit der Realisierung eines virtuellen Pendels nach dem Prinzip gemäß FIG.12.

FIG.60 zeigt den vertikalen Schnitt durch ein Gebäude, getragen von Erdbebenschutz-Modulen wie in FIG.59 mit Darstellung der Lage der Abstütz-Vorrichtungen zur Zentrierung des Gebäudes und zur Aufnahme von Windkräften.

10 FIG.61 ist ein horizontaler Schnitt durch das Untergeschoß eines Gebäudes und das Rahmen-Fundament in der Ebene der Zentrier-Vorrichtung und zeigt die Anordnung der Abstützungen eines Beispiels nach FIG.30.

FIG.62 zeigt eine Deplacierung der Basis mit Fundament relativ zum stillstehenden Untergeschoß des Gebäudes in einer Bewegungsrichtung parallel zu einer Gebäudewand.

15 FIG.63 zeigt eine Deplacierung der Basis mit Fundament relativ zum stillstehenden Untergeschoß des Gebäudes in einer Bewegungsrichtung unter einem Winkel zu einer Gebäudewand.

FIG.64, 64a, 64b zeigt virtuelle Pendel zur Stützung eines Hochhauses.

FIG.65 zeigt ein virtuelles Pendel zum Einbau in eine Beton-Basis nach dem Schema von FIG.21.

20 FIG.66 zeigt die Stützung einer Fahrbahn auf Pylonen über virtuelle Pendel.

Fig.67 zeigt die Stützung eines Pylons mit Stützung auf virtuellen Pendeln an der Basis.

FIG.68 zeigt die Stützung eines Gittermastes auf virtuellen Pendeln nach dem Schema von FIG.21.

FIG.69 zeigt die Stützung einer Pipeline auf virtuellen Pendeln.

25 FIG.70 zeigt die Stützung einer Rohrbrücke auf virtuellen Pendeln.

FIG.59 zeigt ein Erdbebenschutz-Modul in einer Ausführung nach dem Schema gemäß FIG.12 in einer Schwerlastausführung für hohe Gebäude mit ebenerdiger Montage. Das hängende Pendel 2 hat an beiden Enden jeweils ein sphärisches Gelenklager oder ein Kardangeln und ist an seinem oberen Ende aufgehängt an der Tragstruktur 5. Am unteren Lager des Pendels 2 ist der Träger 8 als Koppелеlement gelagert. Das andere Ende des Koppелеlements 8 stützt sich über ein Kugelgelenk 17 oder alternativ möglich auch über ein Kardangeln oder sphärisches Gelenklager auf dem stehenden labilen Pendel 7 ab. Das stehende Pendel 7 stützt sich über ein gleiches Kugelgelenk 17 wie am oberen Ende ebenso am unteren Ende auf der Basis in diesem Fall dem Fundament 20 ab. An dem Träger 8 ist die Gebäudestütze 6 einachsrig gelenkig gelagert abgestützt und trägt das Gebäude 1. Das Erdgeschoß des Gebäudes 1 hängt zusammen mit dem Untergeschoß 22 oder mehreren Untergeschossen an dem Gebäude 1. Der Zwischenraum 23 zwischen den Untergeschossen 22 und dem Fundament 20 an der Basis wird durch den Außenbereich des Erdgeschosses abgedeckt und der Bewegungsspalt zum Fundament mit einer Gleitdichtung 19 abgedichtet. Die Verbindungen zur Versorgung und Entsorgung 21 des Gebäudes mit Wasser und Energie und zur Kommunikation sind zwischen der Fundamentbasis 20 und den Untergeschossen 22 des Gebäudes in einer U-Schleife hängend flexibel ausgeführt, so daß Relativbewegungen zwischen Basis und Gebäude möglich sind, ohne daß die Verbindungen gefährdet werden können.

FIG.60 zeigt einen vertikalen Teilschnitt eines Hochhauses mit der Abstützung durch Erdbebenschutz-Module 56 der Außenkante des Gebäudes entlang aufgereiht in der Bauweise gemäß FIG.59. In einer Ebene 54 eines Untergeschosses 22 sind am Umfang des Gebäudes Horizontalabstützungen 24 angebracht nach dem Prinzip entsprechend FIG.29 oder FIG.30 mit den entsprechenden hydraulischen Ausrüstungen gemäß FIG.28.

FIG.61 zeigt einen Horizontalschnitt durch ein Gebäude-Untergeschoß 22 und ein rahmenförmig um das Untergeschoß ausgebildetes Fundament 20 als Tragbasis für die Erdbebenschutz-Module in einer Ebene 54 in FIG.60. An jeder Seite des Untergeschosses 20, das relativ zur Basis und damit verbundenen Fundament 20 in allen Richtungen beweglich oder verschiebbar ist, befinden sich an jeder Wand je zwei Vorrichtungen zur Horizontalabstützung 24 gegen Windkräfte und zur genauen Mittelzentrierung des Gebäudes relativ zum Fundament. Die Abstütz-Vorrichtungen entsprechen dem Schema nach FIG.30. Baut sich am oberen Gebäudeteil eine Windkraft auf, so verbleibt das Gebäude in der gleichen Lage wie in FIG.61 dargestellt. Die Abstützeinrichtungen reagieren auf geringste Einfederung und erhöhen die Abstützkraft in den Federelementen solange, bis Gleichgewicht mit der Windkraft vorhanden ist. Bei genauer Mittellage ohne äußere Kräfte durch Wind ist zwischen den Laufrollen und der Fundamentwand ein geringfügiges Spiel vorgesehen. Alle Feder-Zylinder sind voll ausgefahren bis zu ihrem hydraulisch gedämpften Anschlag.

FIG.62 Erfolgt eine Verschiebung der Basis in Richtung der dargestellten Pfeile 58 durch ein Erdbeben, so federn die Horizontalabstützungen 24 an der Seite ein, wo sich die Fundamentwand 20 dem Gebäude nähert. Auf der gegenüberliegenden Seite des Gebäudes heben die Abstützungseinrichtungen 24 von der Wand ab.



FIG.68 zeigt einen Gittermast, der auf Erdbebenschutz-Modulen gestützt ist, die nach dem Prinzip entsprechend FIG.21 gestaltet sind und mit Windkraftabstützung ausgerüstet sind.

5 FIG.69 zeigt die Stützung eines Pipeline-Rohrs durch ein stabiles und ein labiles Pendel 2 und 7 entsprechend dem Schema, entsprechend FIG.9. Das Koppellement 8 ist selbst als Rohrlager ausgebildet. Das Zentrum des Rohrquerschnitts beschreibt bei horizontaler Verschiebung eine Bahn wie das untere Ende eines langen Pendels. Die Aufhängung des Rohrs erfolgt an einem virtuellen Pendel. Das stehende Pendel 7 wird durch eine gegen einen Anschlag vorgespannte Feder 47 in der Vertikalstellung gehalten. Erst bei 10 einem vorbestimmten Kippmoment am Pendel 7 wird ein Zusammendrücken der Feder 47 erreicht und eine Bewegung des Stützsyste.ms möglich. Das Kippmoment wird derart vorbestimmt, daß nur Massen-Reaktionskräfte aus Querbeschleunigungen entsprechend Erdbebengrößen die Bewegung herbeiführen.

15 FIG.70 stellt die Stützung einer Rohrbrücke, wie sie in Chemieanlagen und Raffinerien gebräuchlich sind, auf virtuellen Pendeln dar. Die Laststütze 89 wird vom Koppellement 8 gestützt, das vom stabilen Stützelement, dem hängenden Pendel 2 und dem labilen Stützelement, dem stehenden Pendel 7 gestützt wird.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppelement (8) in ein weiteres Koppelement (8b) gegliedert und über das Koppelement (8a) beidseitig einachsig gelenkig damit verbunden ist, und daß das Stützelement (8b), welches einachsig gelenkig an der Laststütze ( $W_1$ ) gelagert ist, sich auf dem labilen Pendel, Stützelement (7) zweiachsig gelenkig stützt. (FIG.13 bis 17)

6. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß drei Stützelemente (11) an einem Koppelement (9, 14) an drei Punkten am Umfang zweiachsig gelenkig angelenkt, in der Ruhelage von dem Zentrum des Koppelements (9) weg nach oben schräg nach außen geneigt angeordnet und zweiachsig gelenkig an der Basis (6) aufgehängt sind. (FIG.18, 19)

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Lagerpunkt (P) zur Abstützung des Objekts (1) oberhalb einer durch die drei Lagerpunkte (12) der Stützelemente (11) an dem Koppelement (9) gebildeten Ebene angeordnet ist. (FIG.19, 20, 21)

8. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppelement (8), das mit mindestens zwei Stützelementen (2) zweiachsig gelenkig verbunden ist, die jedes an ihrem oberen Ende zweiachsig gelenkig pendelnd an einem mit der Basis (6) verbundenen Stützpunkt (10) in paralleler Anordnung aufgehängt sind, in seiner Mitte ein Stützelement (14) trägt, das im Koppelement (8) einachsig gelenkig gelagert ist, wobei die Schwenkbewegung des Stützelements (14) in die Richtung der Stützpunkte des Koppelements (8) an den Stützelementen (2) zeigt, und das an seinem unteren Ende unterhalb seiner Lagerung auf dem Koppelement (8) zweiachsig gelenkig und axial verschiebbar gelagert ist, und das oberhalb seiner Lagerung auf dem Koppelement (8) an einem zweiachsig gelenkigen Lagerpunkt (P) das Objekt trägt. (FIG.22, 23, 24)

9. Vorrichtung nach Anspruch 2 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Vorrichtung abweichend von der Ausführung nach Anspruch 8 das Koppelement (8) an mehreren symmetrisch angeordneten Stützelementen (2) in paralleler Lage gestützt ist, und daß das Stützelement (14) auf dem Koppelement (8) zweiachsig gelenkig gelagert ist. (FIG.22, 23, 24)

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme von Windkräften unter dem getragenen Objekt (1) zwischen der Basis (6) und dem Objekt (1) ein Querkraft aufnehmender Stab angeordnet ist, bei dem ein Ende des Stabes (42) mit dem Ende einer an der Basis (6) oder an dem getragenen Objekt (1) nicht gelenkig befestigten vorgespannten Zugfeder (41) nicht gelenkig fest verbunden ist und dessen anderes Ende sich mit einem Zapfen (42) in einem an dem gegenüber sich befindlichen Objekt (1) beziehungsweise an der Basis (6) befestigten in einem zweiachsig schwenkbaren Lager (43) axial verschiebbar abstützt, wodurch die Lage von Objekt (1) und Basis (6) relativ zueinander fixiert wird und eine relative Verschiebbarkeit zwischen Basis (6) und Objekt (1) erst entsteht, wenn eine an dem Zapfen (42) wirkende Querkraft eine durch die Vorspannung der Zugfeder (41) vorbestimmte Größe übersteigt. (FIG. 25)

15. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Zentrierkugel (44) in einer vertikalen Führung ungebremst gegen eine vertikal wirkende Federkraft einfedern kann, wenn aus einer waagerechten Verschiebung des Zentriertrichters (45) hervorgerufene Vertikalkraft ( $F_v$ ) die Federkraft übersteigt, und daß ein Zurückfedern der vertikalen Führung mit der Zentrierkugel (44) durch hydraulische Drosselung auf eine geringe Geschwindigkeit gebremst wird, so daß die Zeit für den vollen Rückfederhub ein Vielfaches einer maximalen Erdbeben-Schwingungsperiode beträgt. (FIG.27)

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme von Windkräften zwischen senkrechten Seitenwänden der Basis (6) und auf gleicher Höhe liegenden Punkten des getragenen Objekts (1) rings um das in eine Mulde in der Basis (6) hineinragende Objekt (1) herum verteilt mindestens drei Paare, je ein Paar für die Bewegungs-Achsen, eines für die vertikale und zwei für die horizontalen, jeweils zum Objekt (1) paarweise spiegelbildlich angeordnet, mit mechanischer oder hydropneumatischer Feder (47) mit flacher Federkennung und in Richtung auf die Seitenwand des Fundaments bis zu einem vorbestimmten Anschlag an geeigneten Führungen ausfahrbaren Gleitschuhen oder Rollen (25) oder Mehrrollen-Laufwerken mit horizontaler Laufrichtung rings um das Objekt (1) angeordnet sind. (FIG.28, 29, 30)

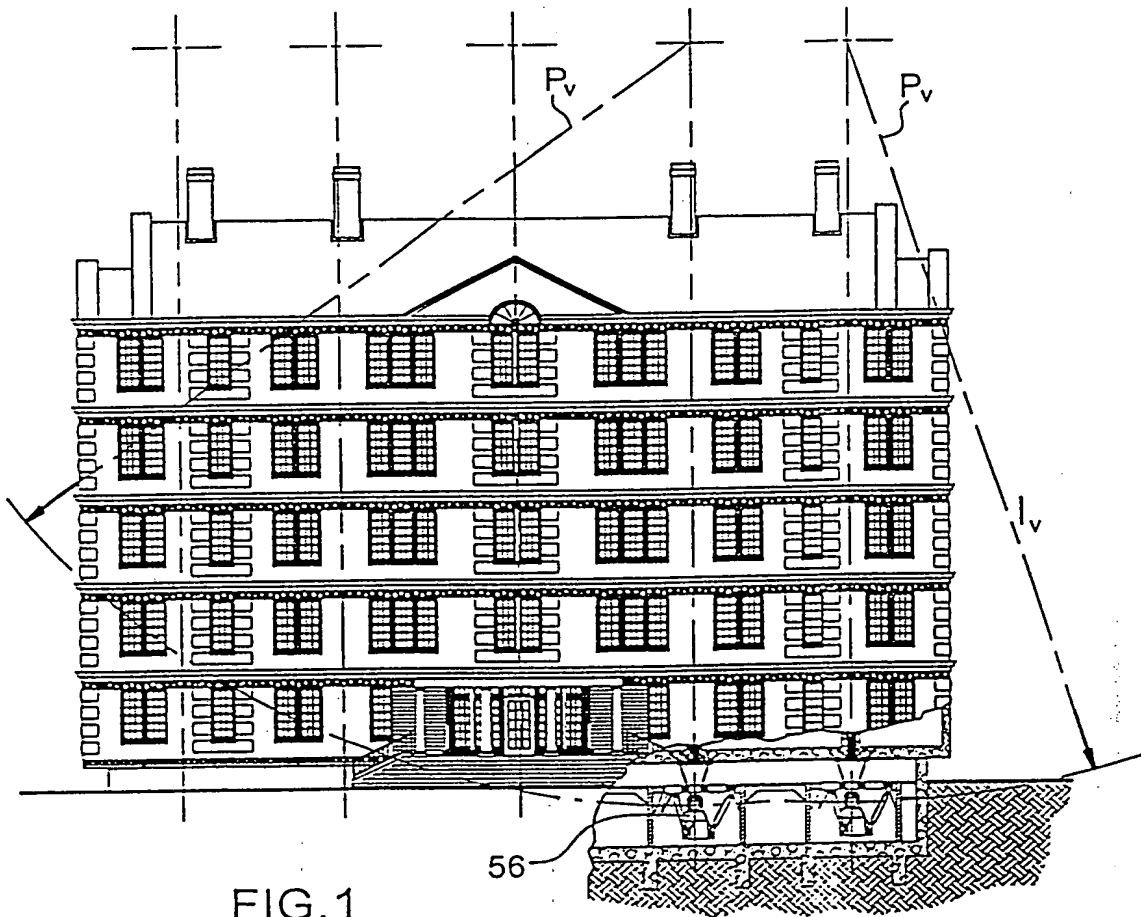
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Sicherstellung ringsum gleichmäßig horizontaler Abstände zur Seitenwand (20) der Basis bei geringster Einfederung durch Verschieben des Objekts relativ zur Basis durch Windkraft selbsttätig, durch hydraulische Tastventile geregelt, die Federkraft erhöht, bis volle Ausfederung in Sollstellung zentriert erreicht ist, und bei Verlagerung der Basis während Einfederns bei Erdbebenschwingungen aufgrund der flachen Federkennung die Abstützkraft gegen vorhandene Windkraft nur gering erhöht wird, so daß nur eine geringe Differenzkraft als Beschleunigungskraft mit Wirkung auf die Objektmasse wirksam wird. (FIG.28, 29, 30)

18. Vorrichtung nach Anspruch 16 und 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung zwischen dem mit der Basis (6) schwingenden Fundament und der durch virtuelle Pendel schwingungs isolierten Gebäudestruktur dazu benutzt wird, eine oder mehrere Pumpen (37) für die Servoenergiegewinnung anzutreiben, die für sich einzeln oder in Kombination mit Zentrier- und Windkraft-Abstützelementen, die mit der Relativbewegung in Verbindung stehen, angeordnet sein können. (FIG.28, 30)

19. Vorrichtung nach Anspruch 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein separat vom Hauptgebäude (51) durch virtuelle Pendel (56<sub>v</sub>) schwingungs isoliert gestützter Gebäudeteil (22) außerhalb von Windbeaufschlagung als Lagereferenz für eine Lageregelung des Hauptgebäudes unter Windbelastung dient. (FIG.31)

20. Vorrichtung nach den Ansprüchen 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Laststütze zwischen dem Lagerpunkt (P) des virtuellen Pendels und dem gestützten Objekt (51) als vertikales Federbein mit einer Federung mit sehr flacher Kennung und darauf abgestimmter Dämpfung gestaltet ist, wobei die Federelemente mechanischer, hydraulisch-pneumatischer, oder fluidelastischer Art sein können. (FIG.32)

1 / 70



3 / 70

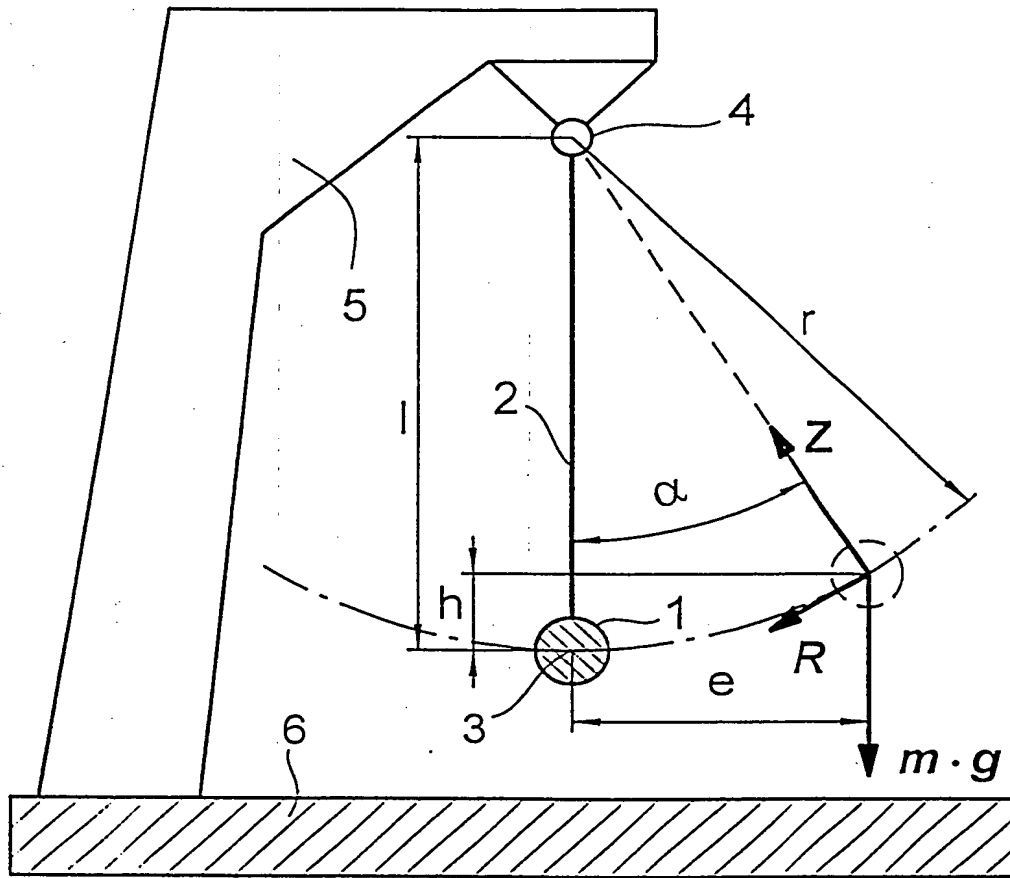


FIG. 5

5 / 70

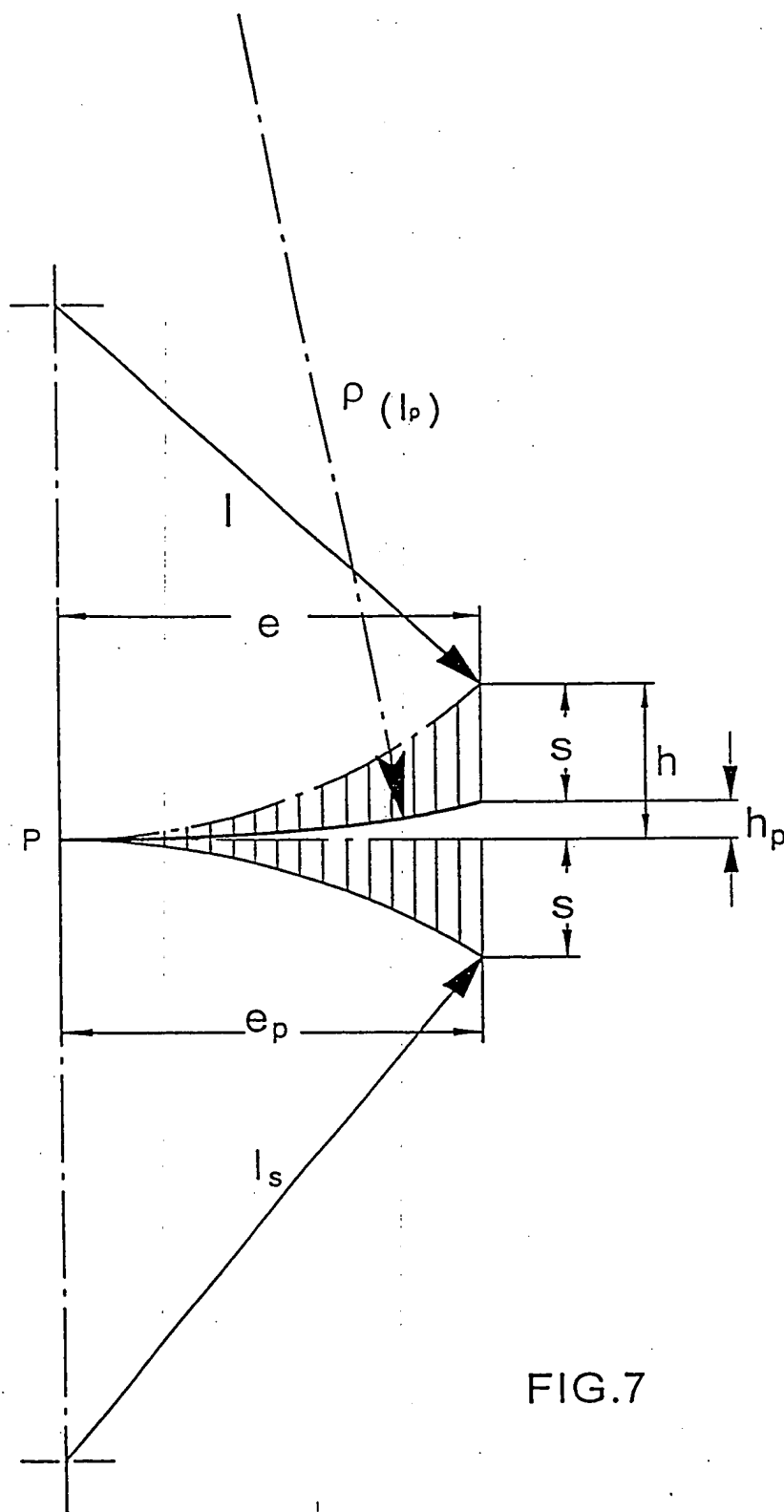
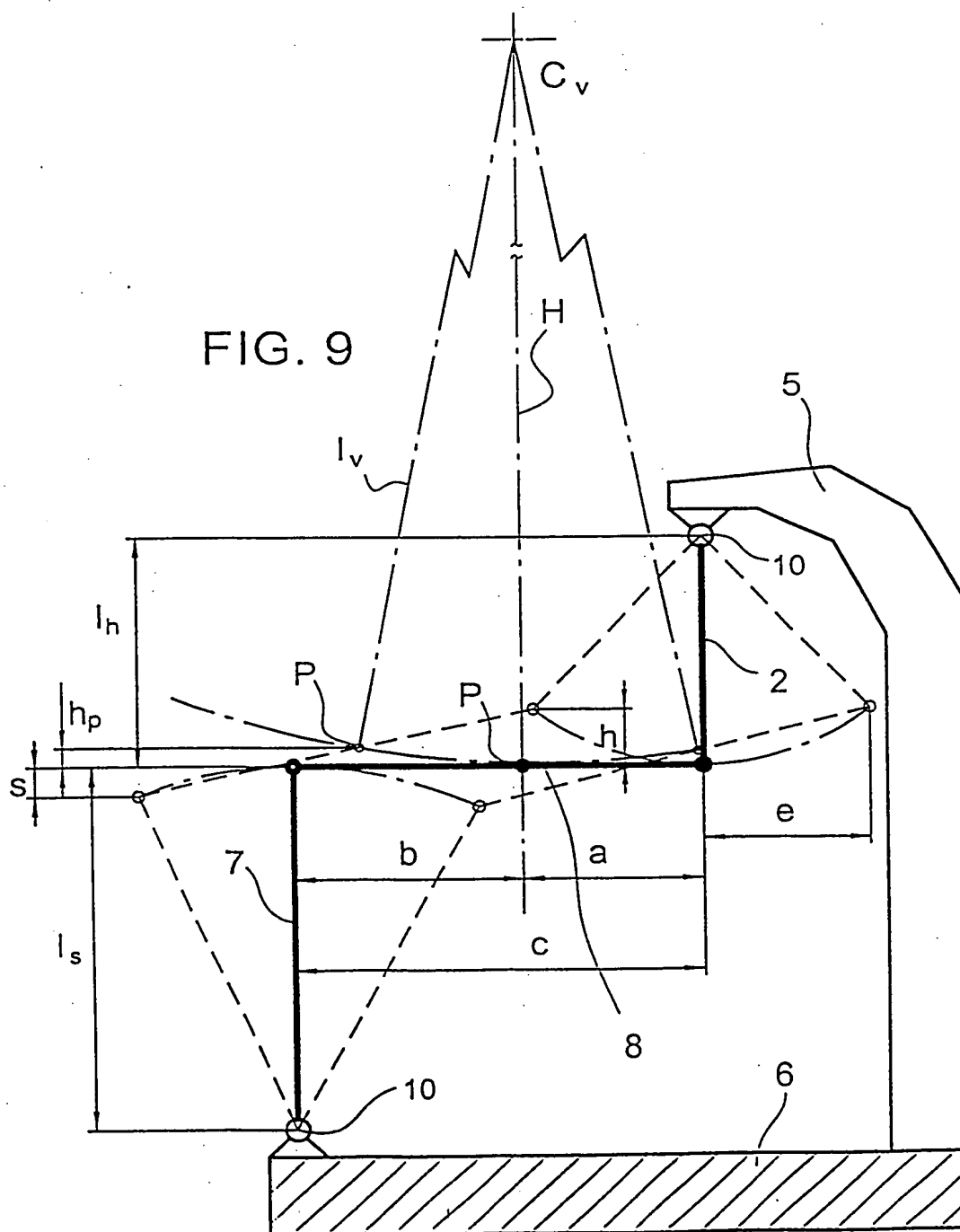


FIG.7

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

7 / 70



GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

131.10.03

9/70

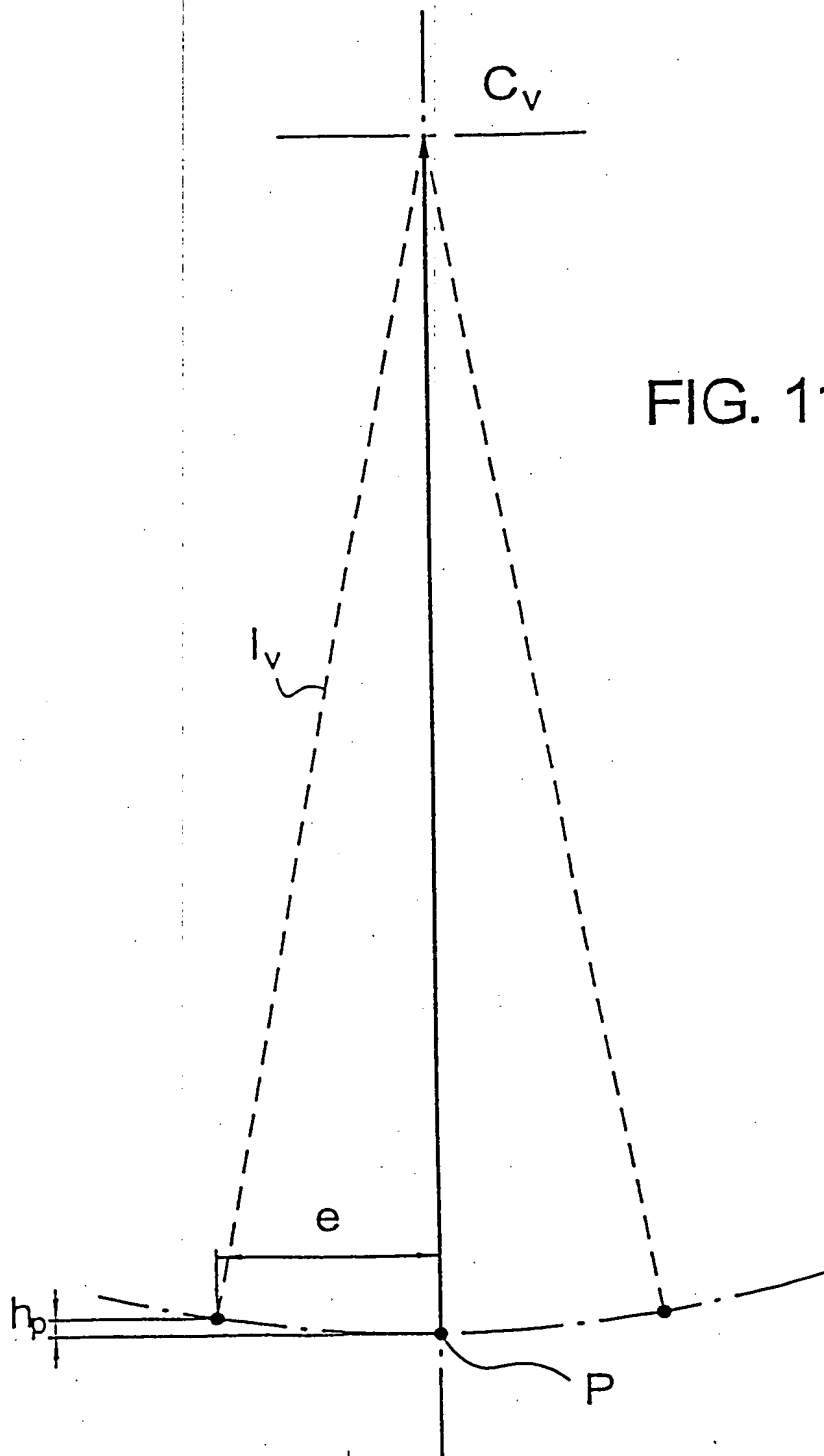


FIG. 11



11 / 70

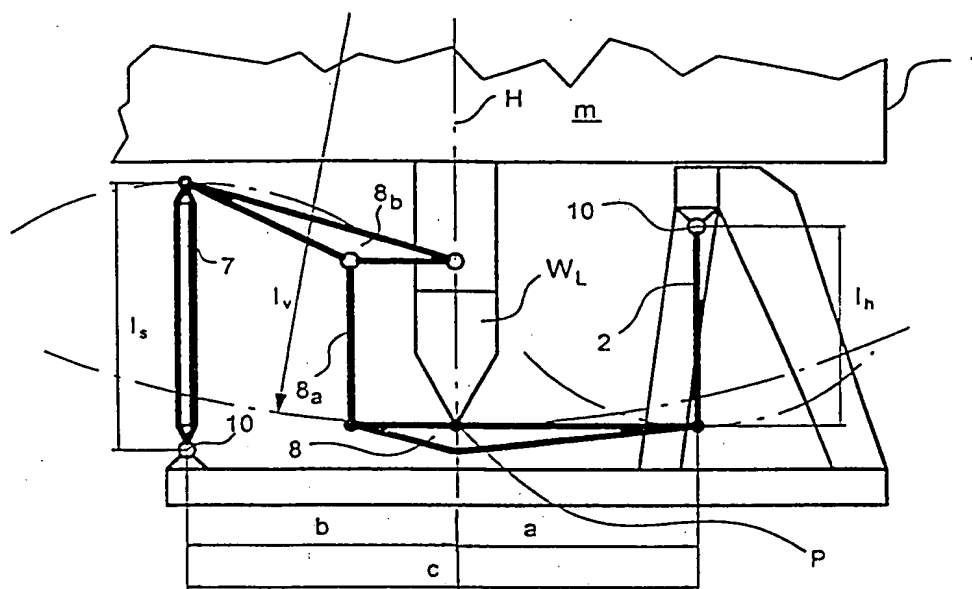


FIG.13

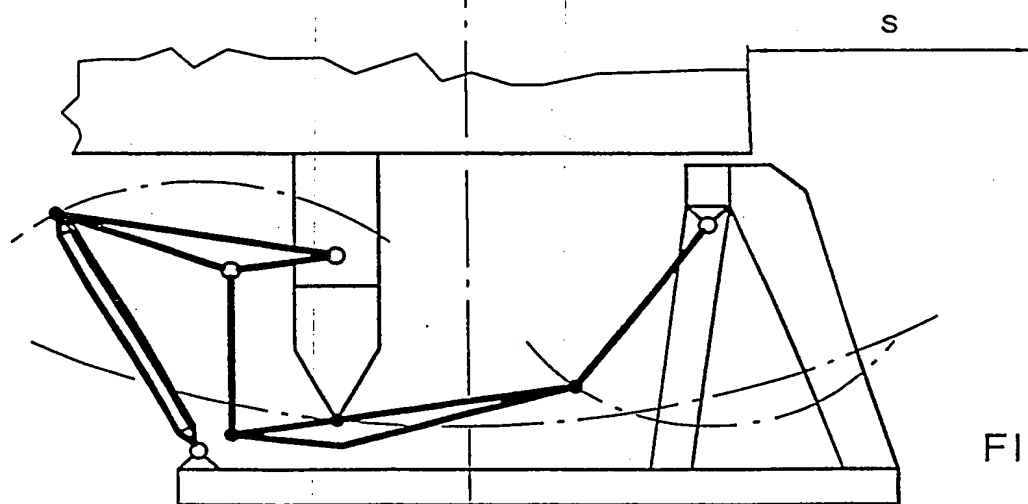


FIG.14

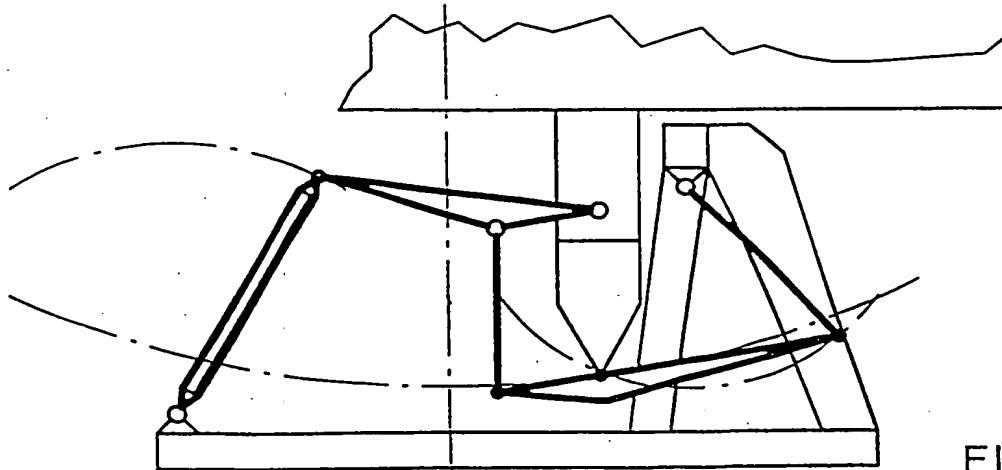


FIG.15

GEÄNDERTES BLATT

13/70

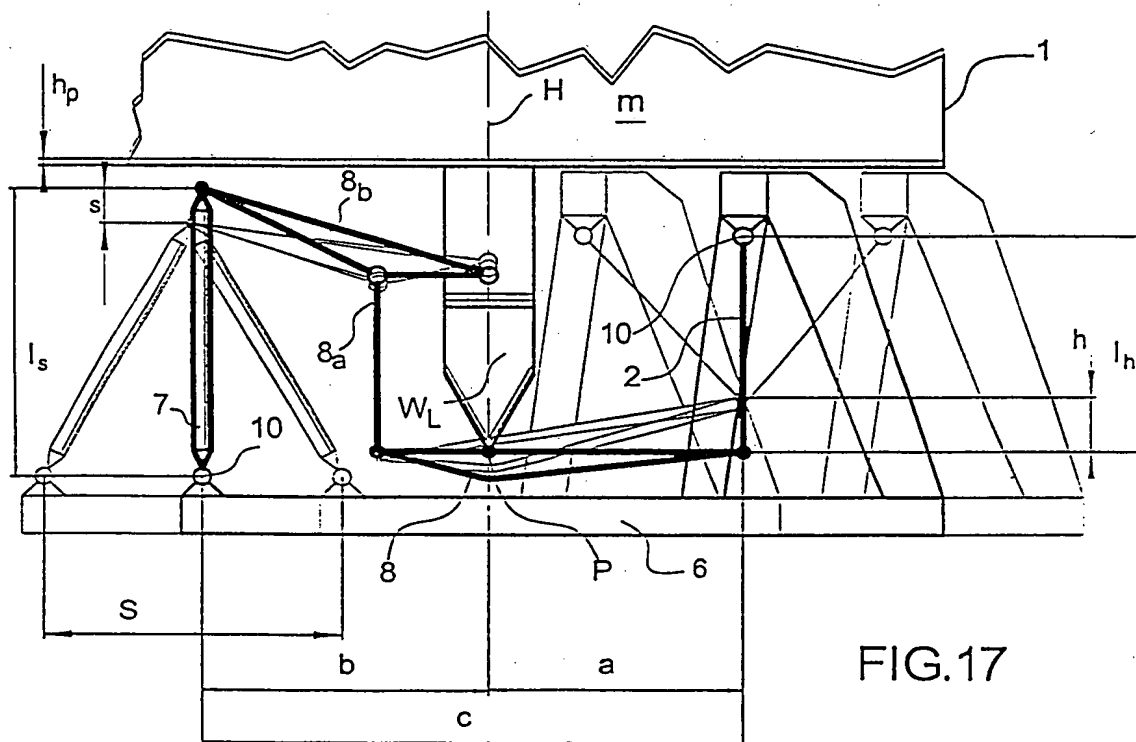


FIG.17

15 / 70

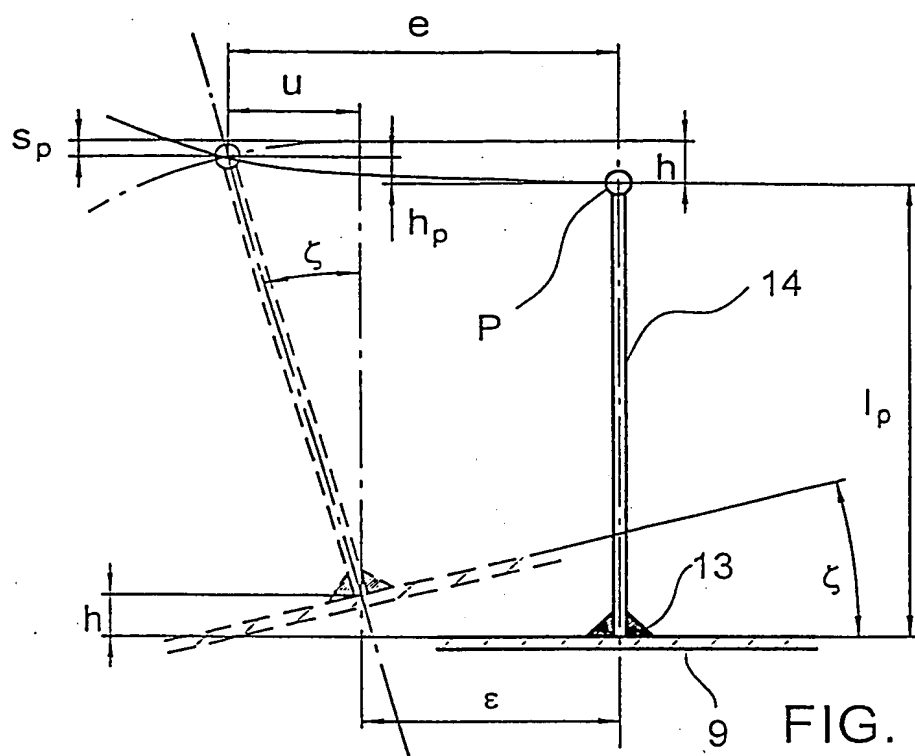


FIG. 20

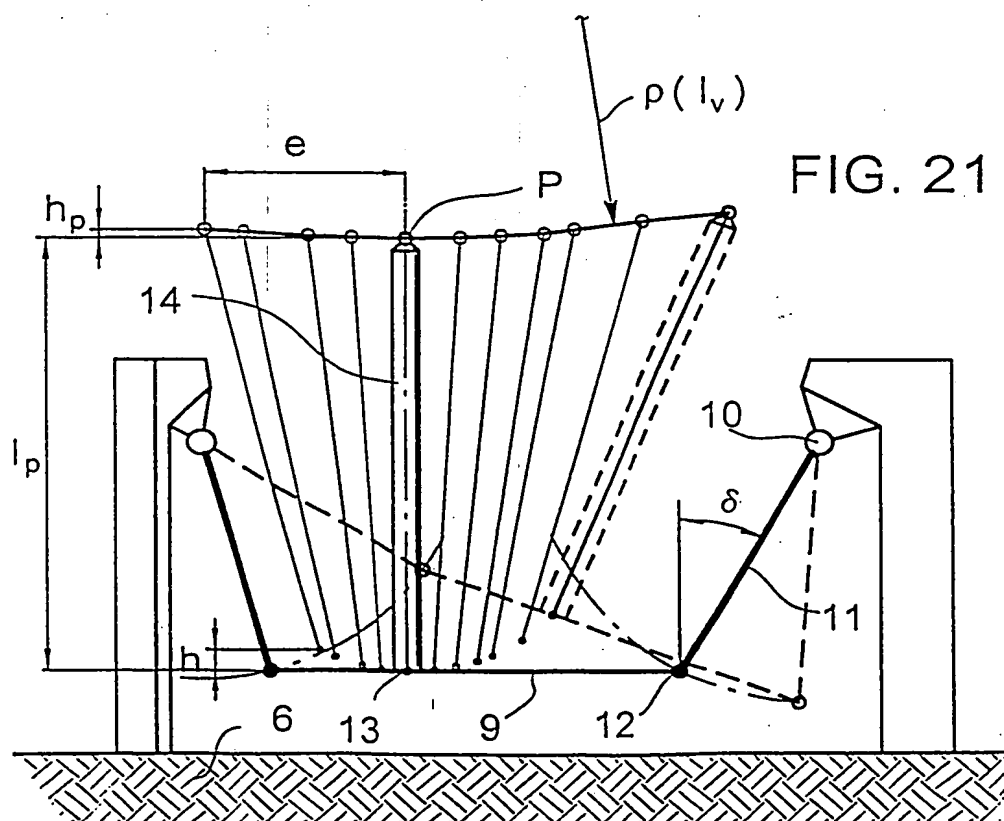


FIG. 21

GEÄNDERTES BLATT

17 / 70

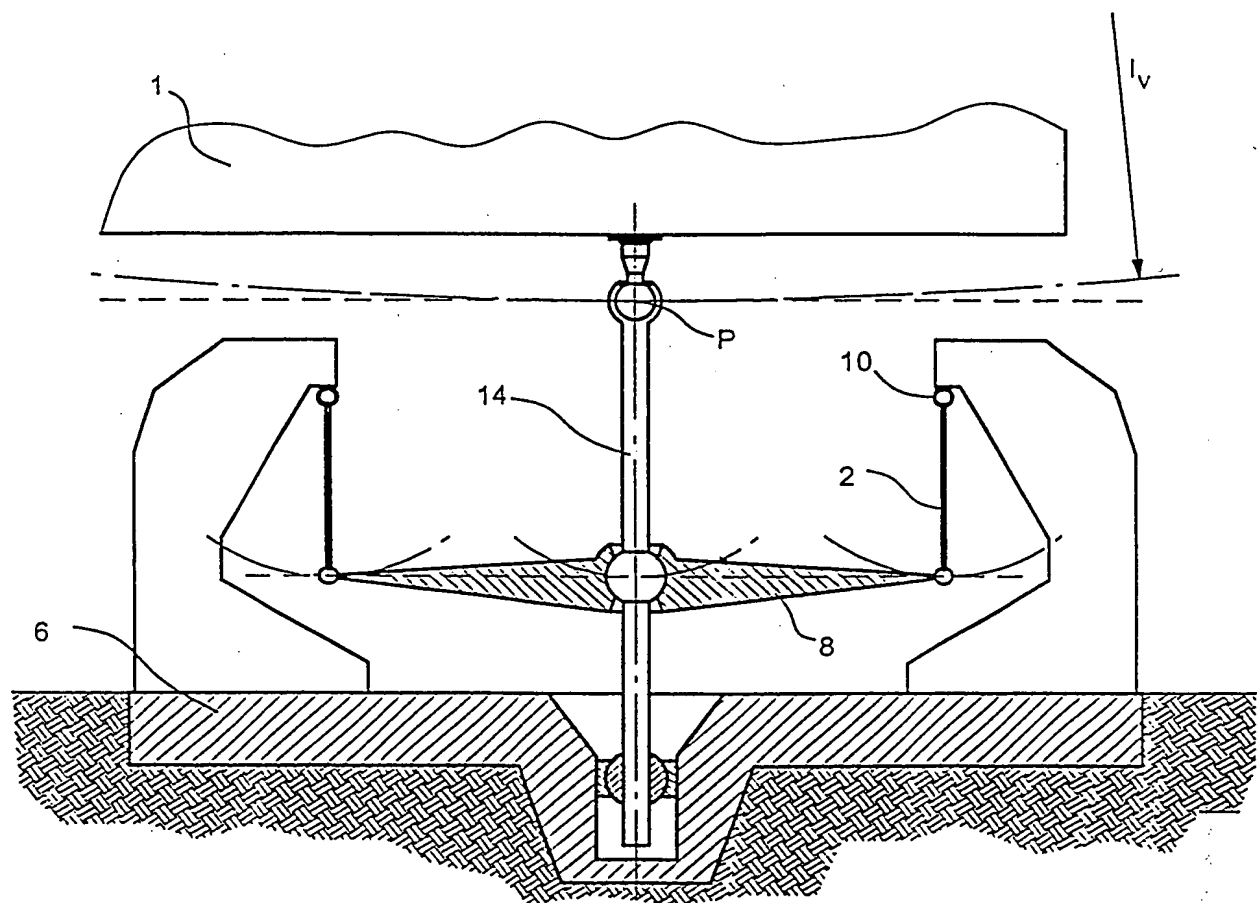


FIG.23

GEÄNDERTES BLATT

19 / 70

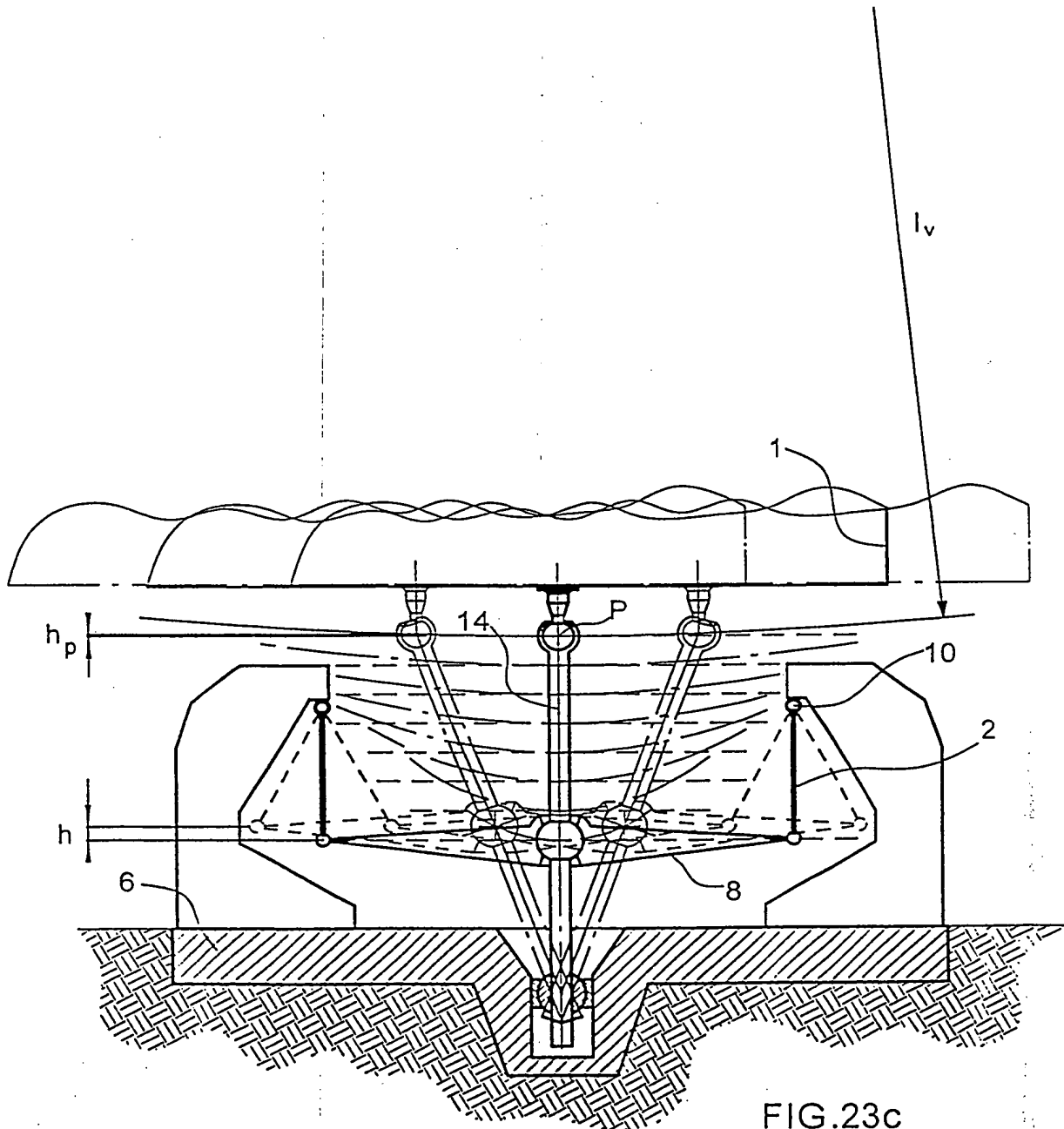


FIG.23c

21 / 70

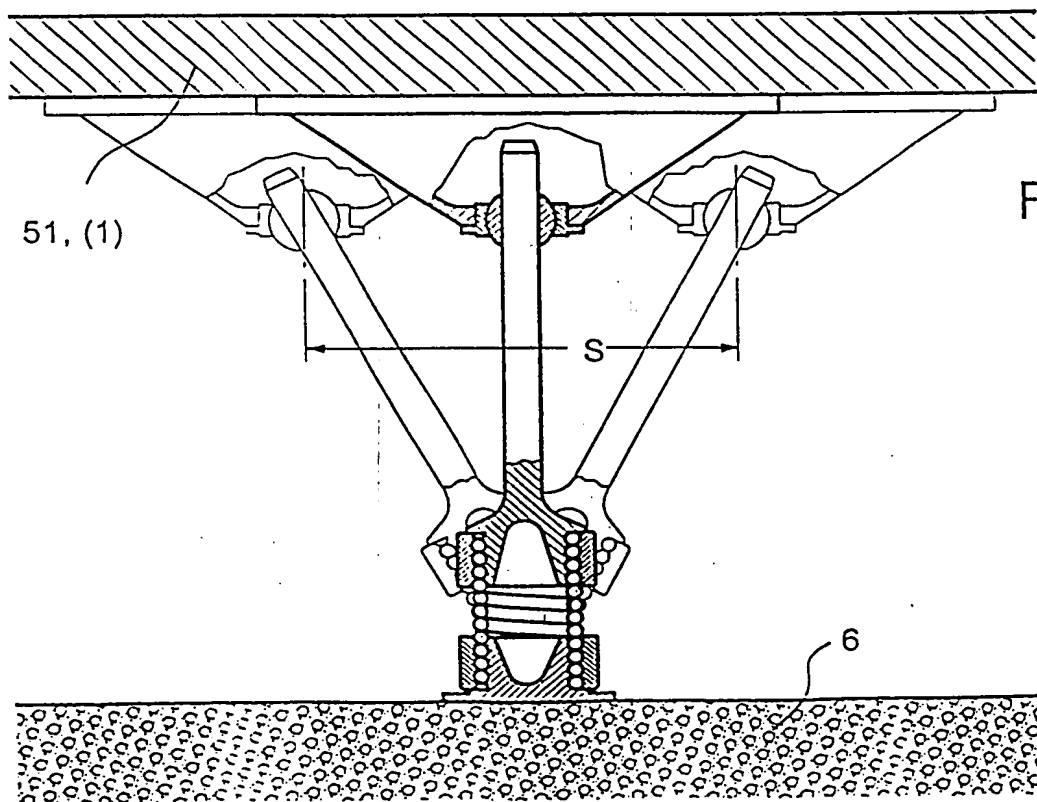
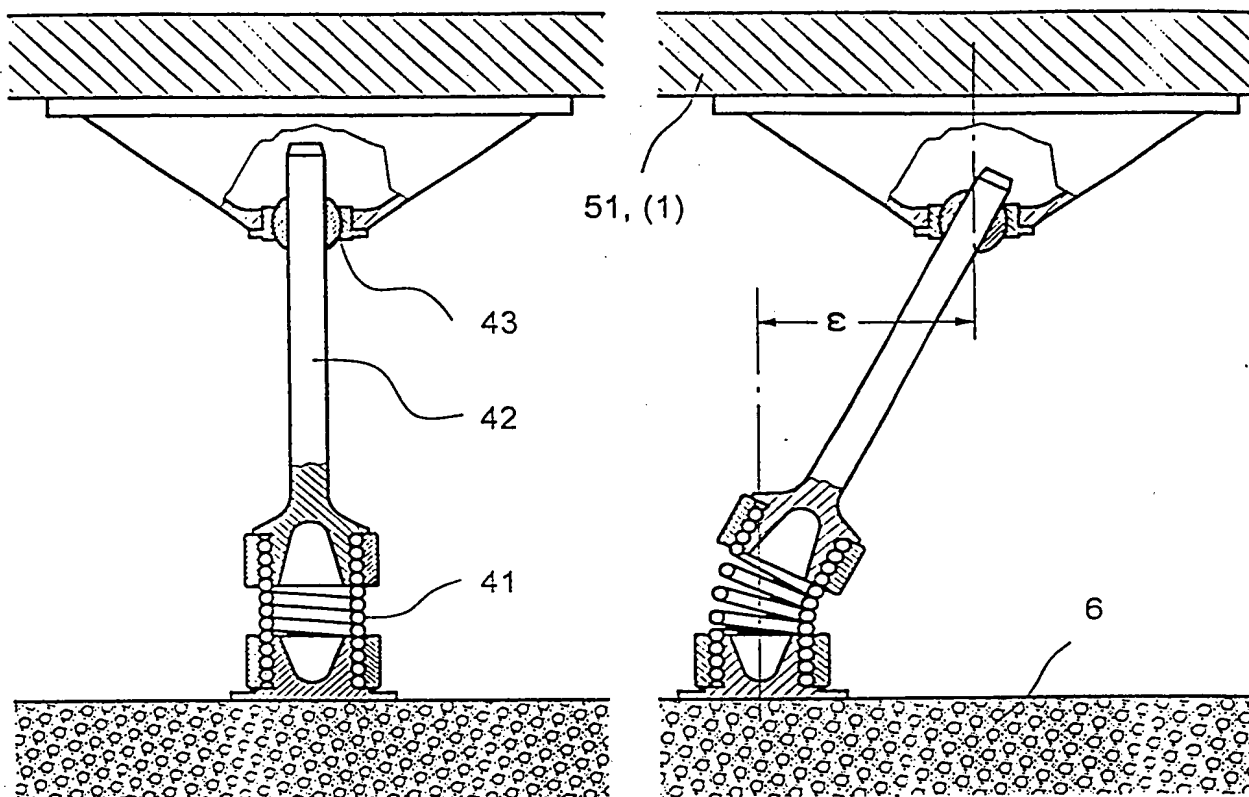


FIG. 25

23 /70

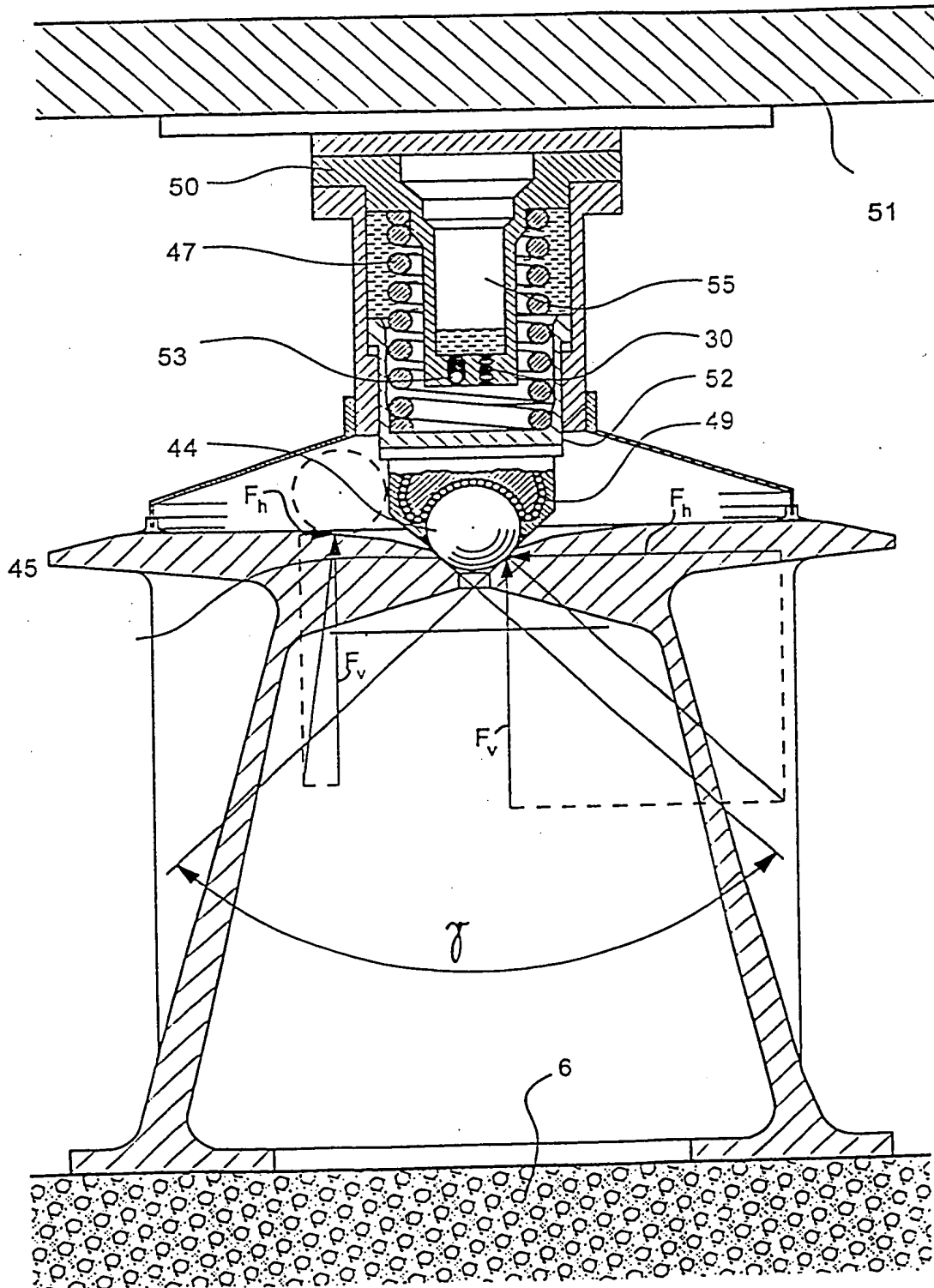
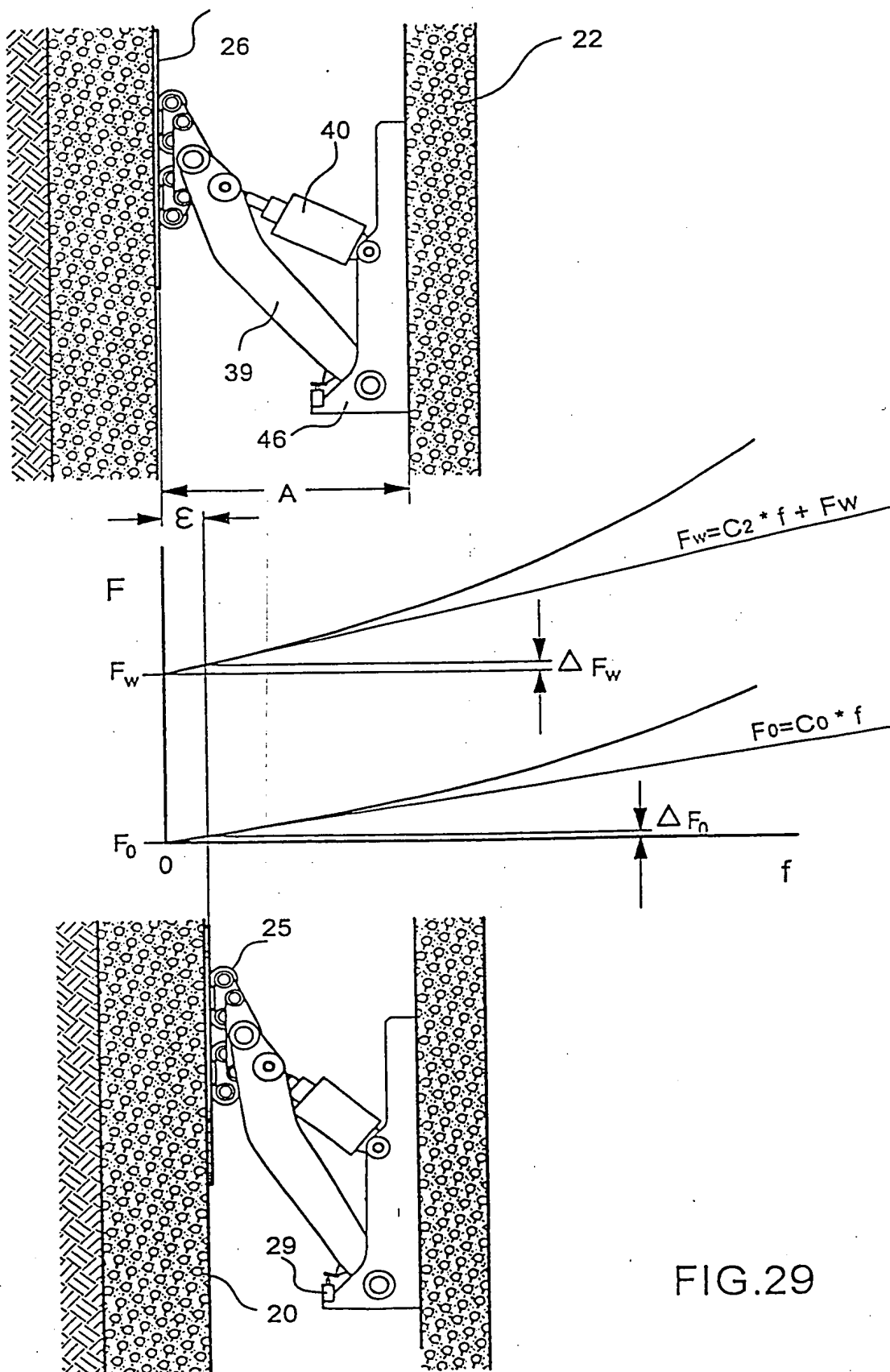


FIG.27

25 / 70





27 170

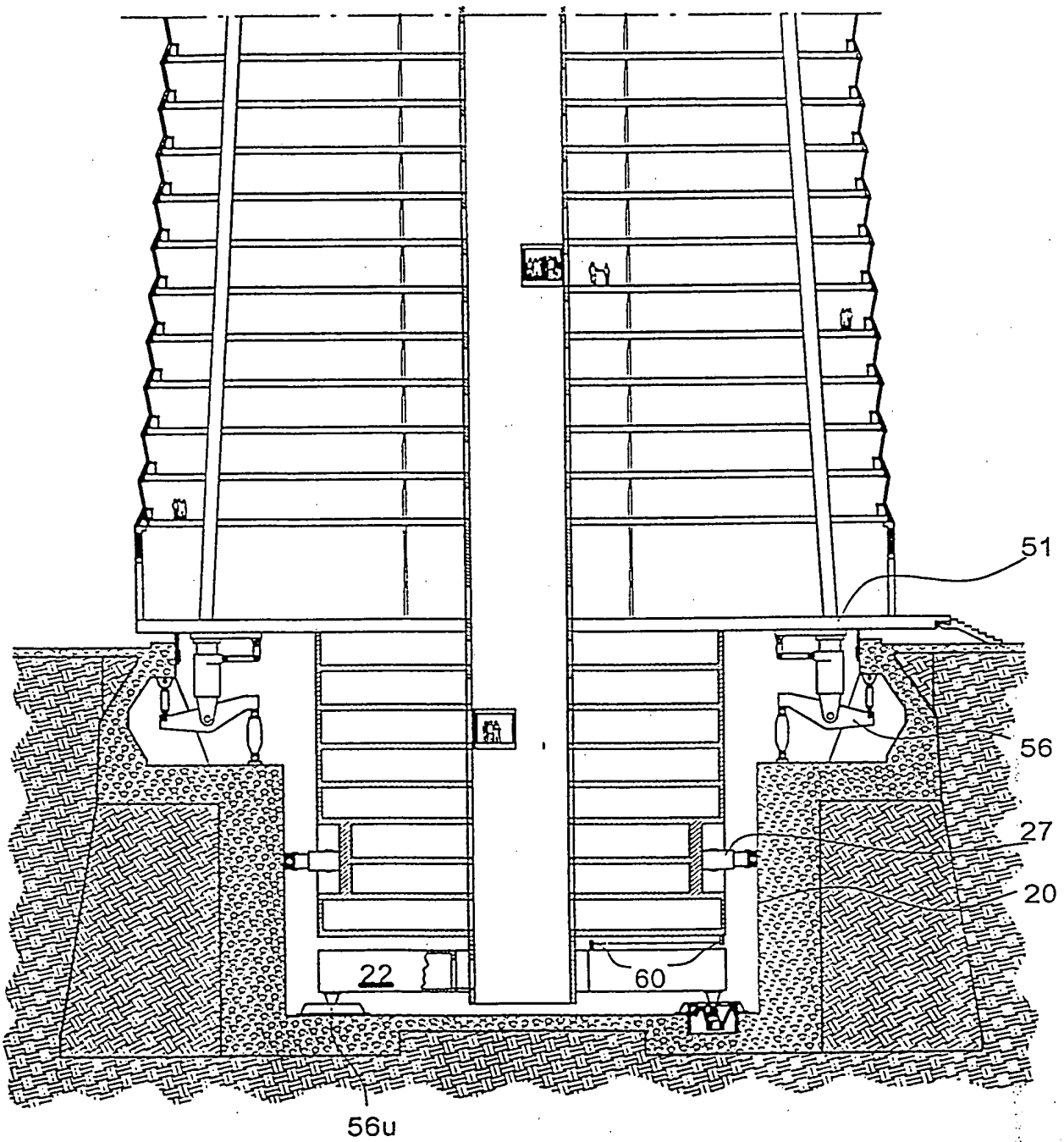


FIG.31

29 /70

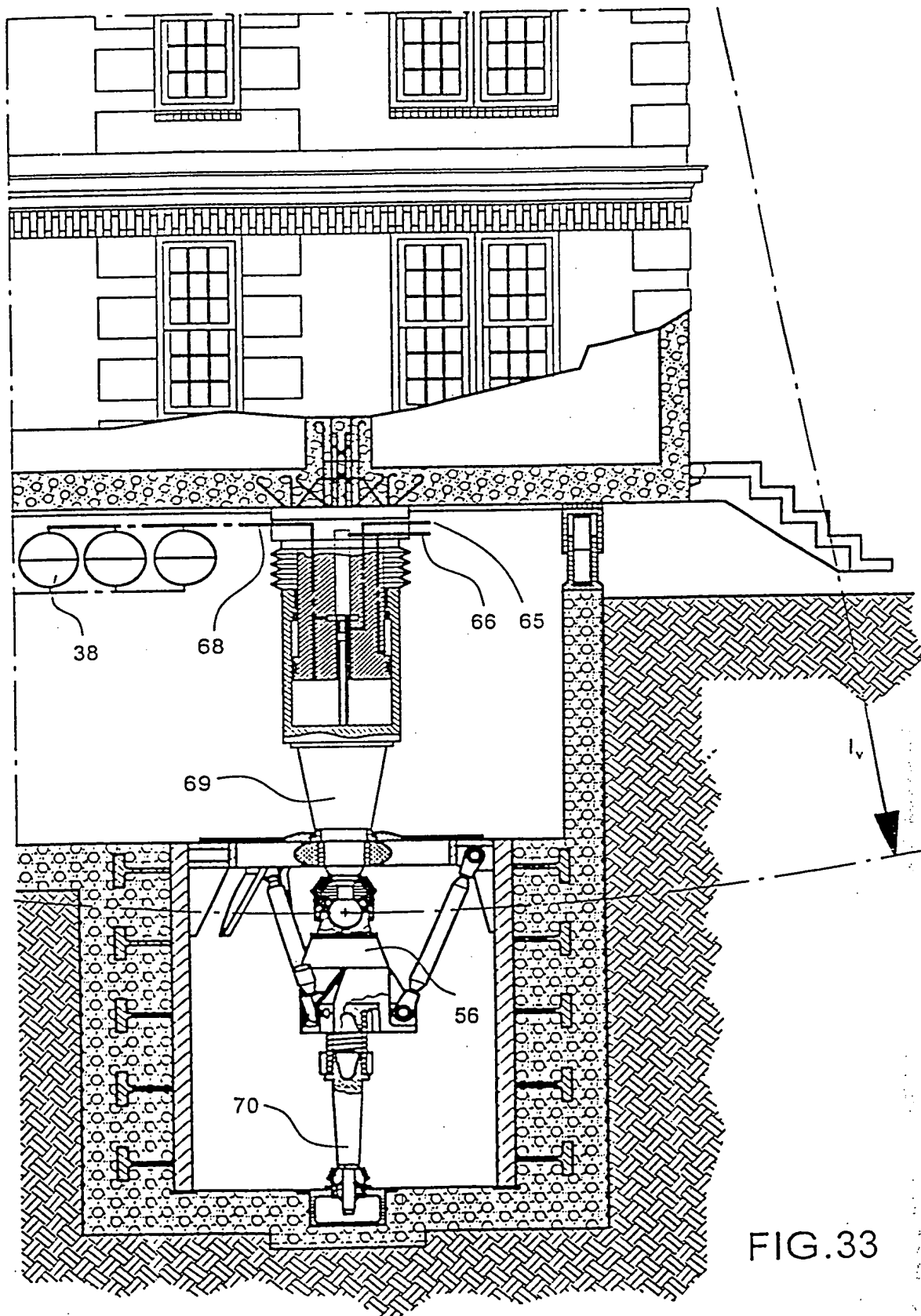


FIG.33

R=RICHTIGES BLATT (REGEL 91)

31 /70

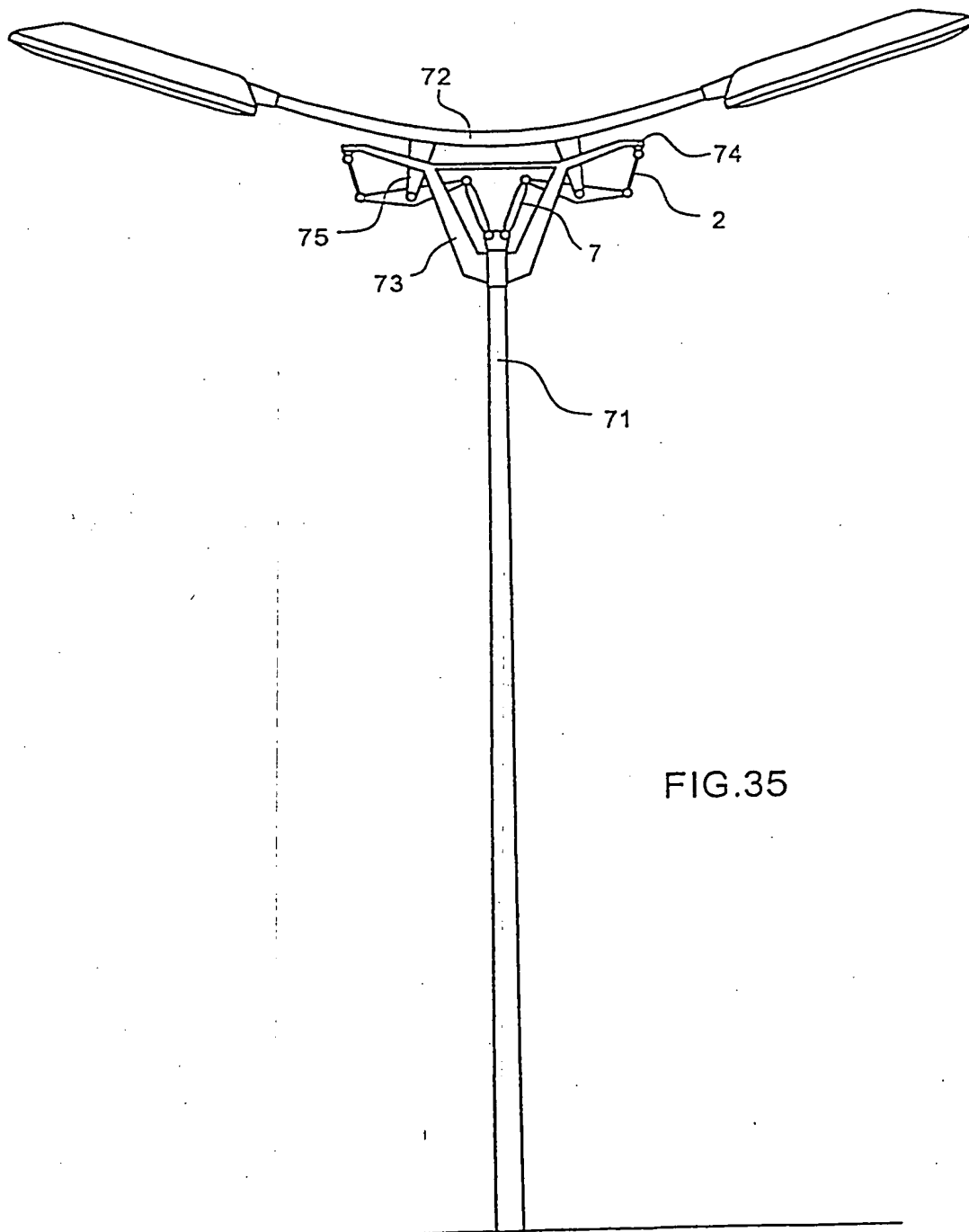


FIG.35

33 /70

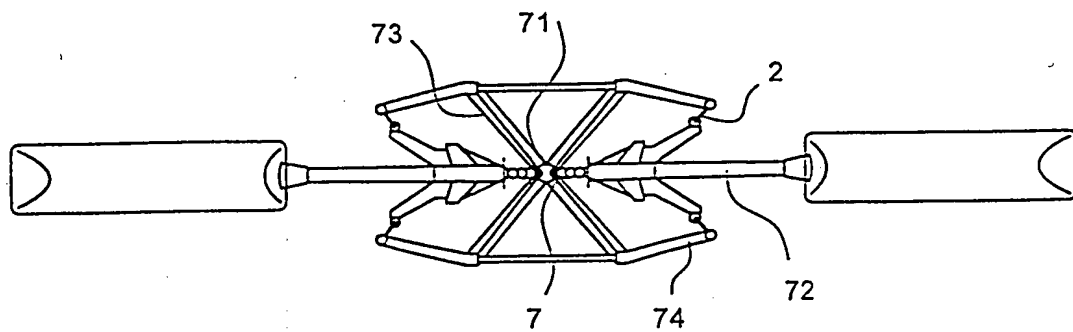


FIG.35b

35 / 70

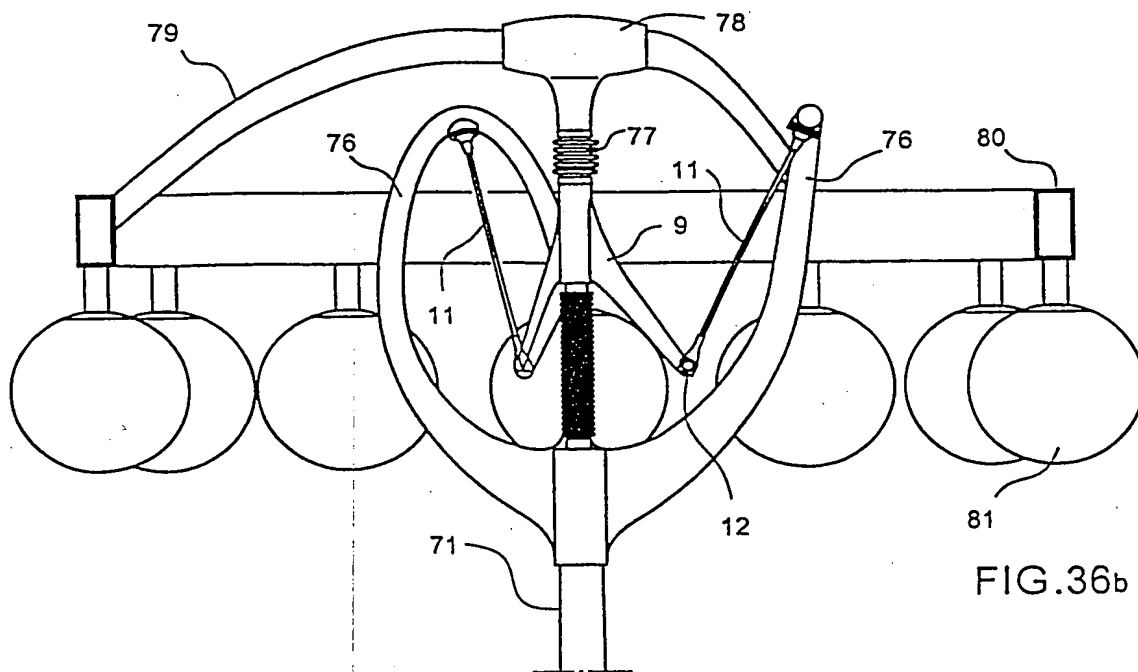


FIG.36b

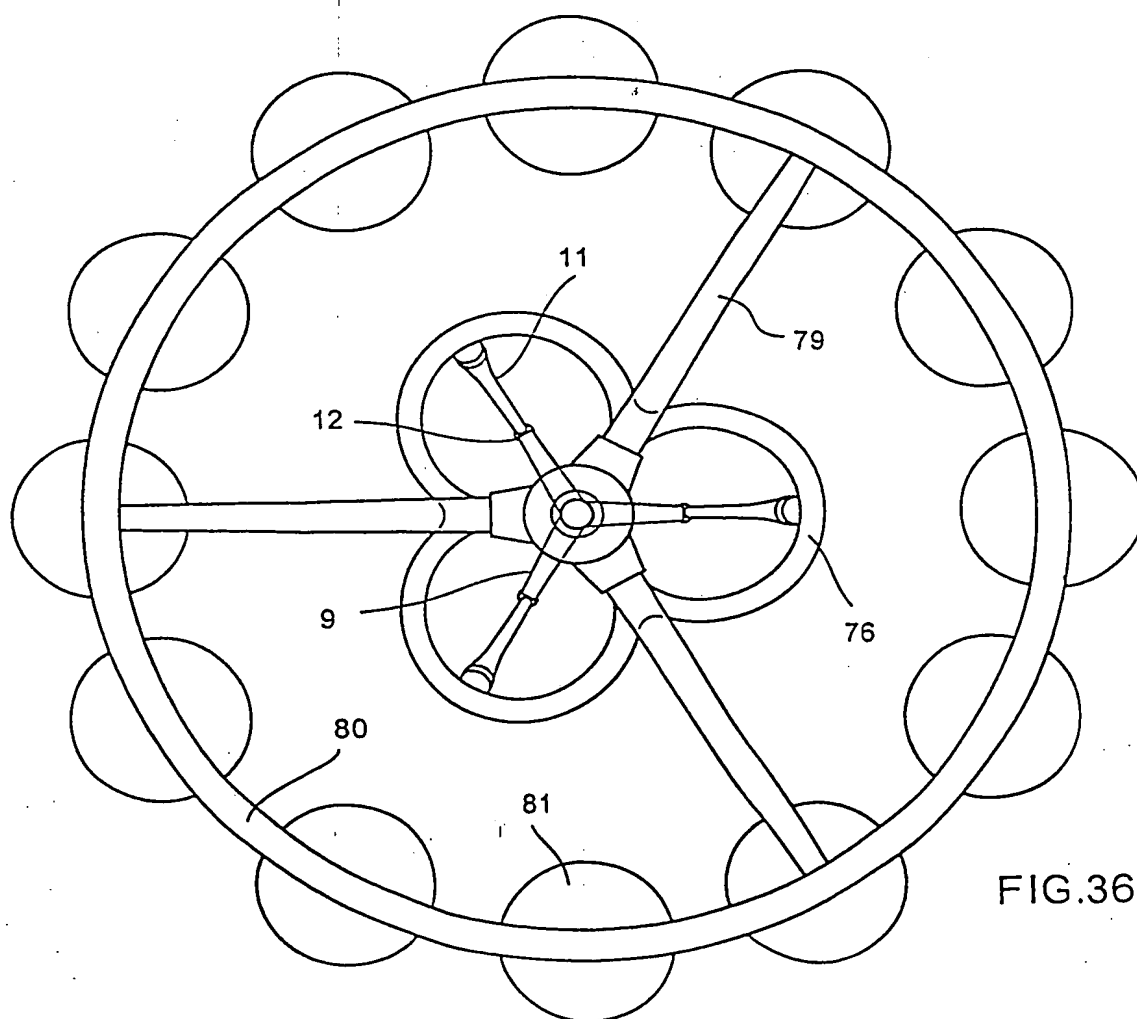


FIG.36a

GEÄNDERTES RI ATT

37 170

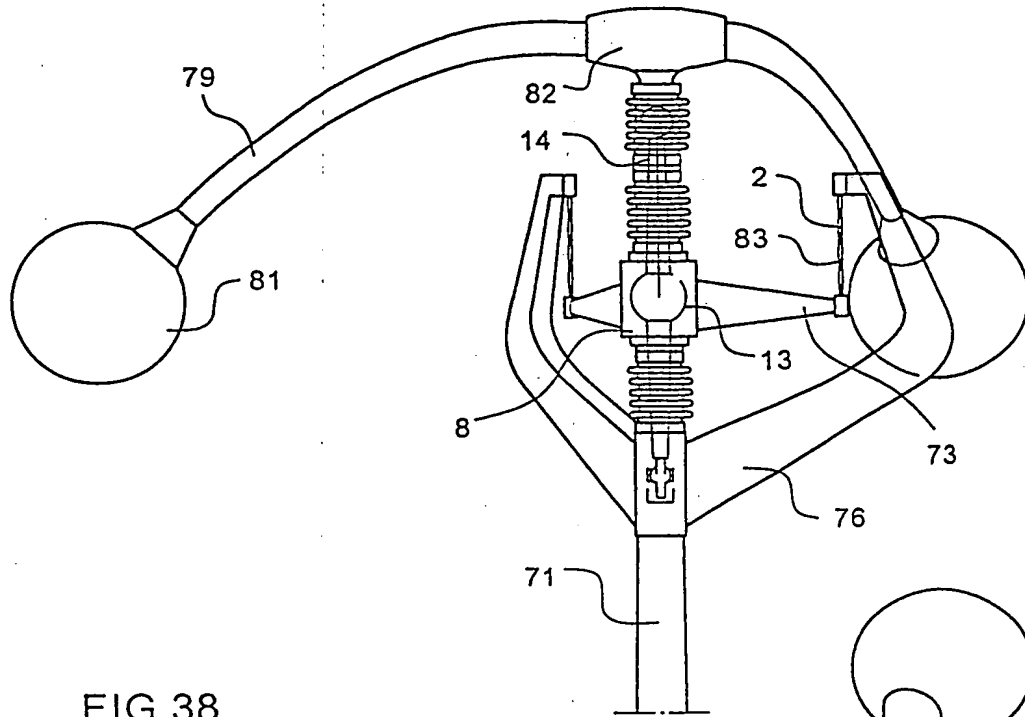
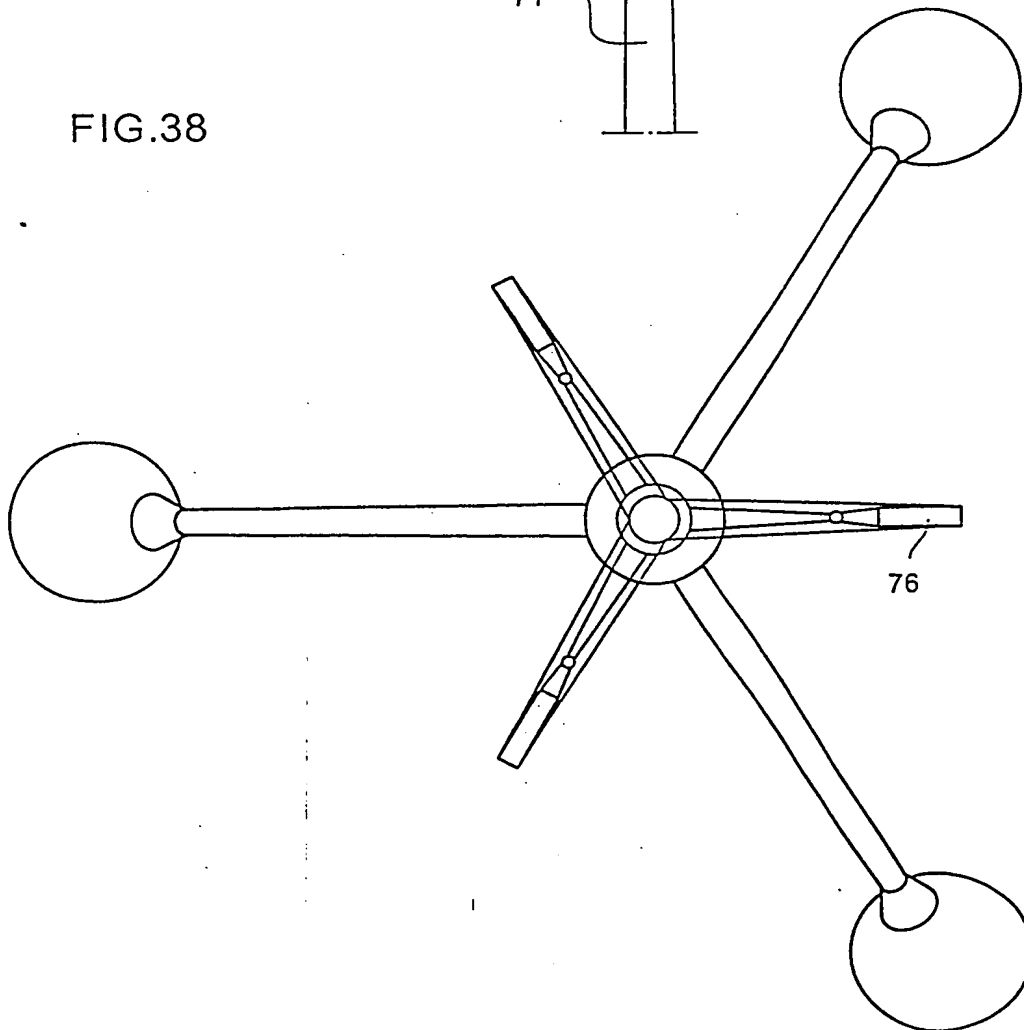
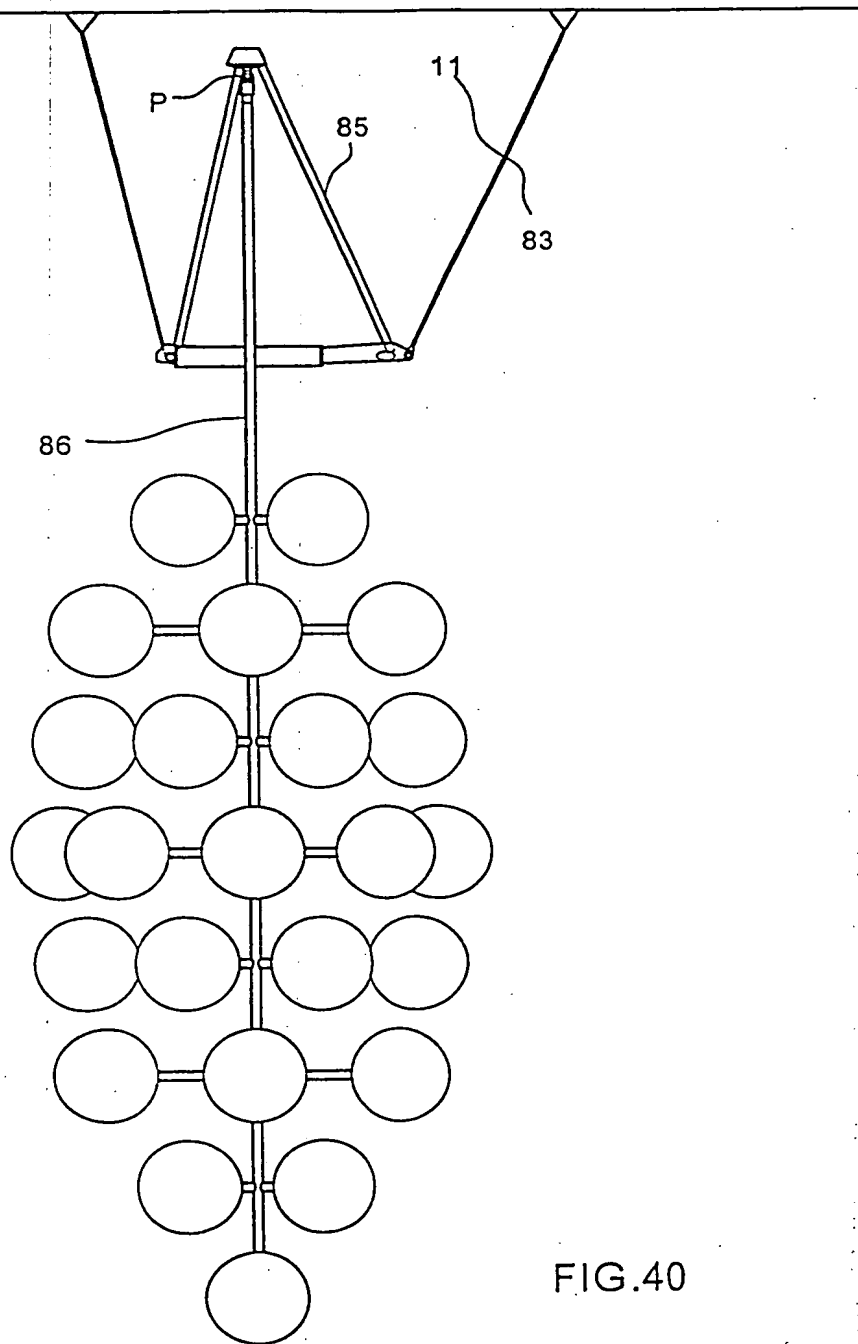


FIG. 38



39 / 70



41 /70

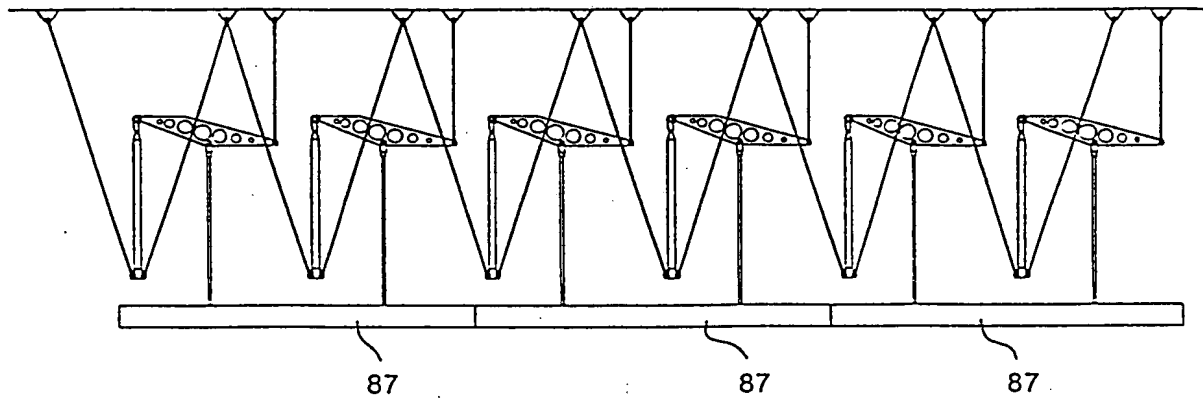
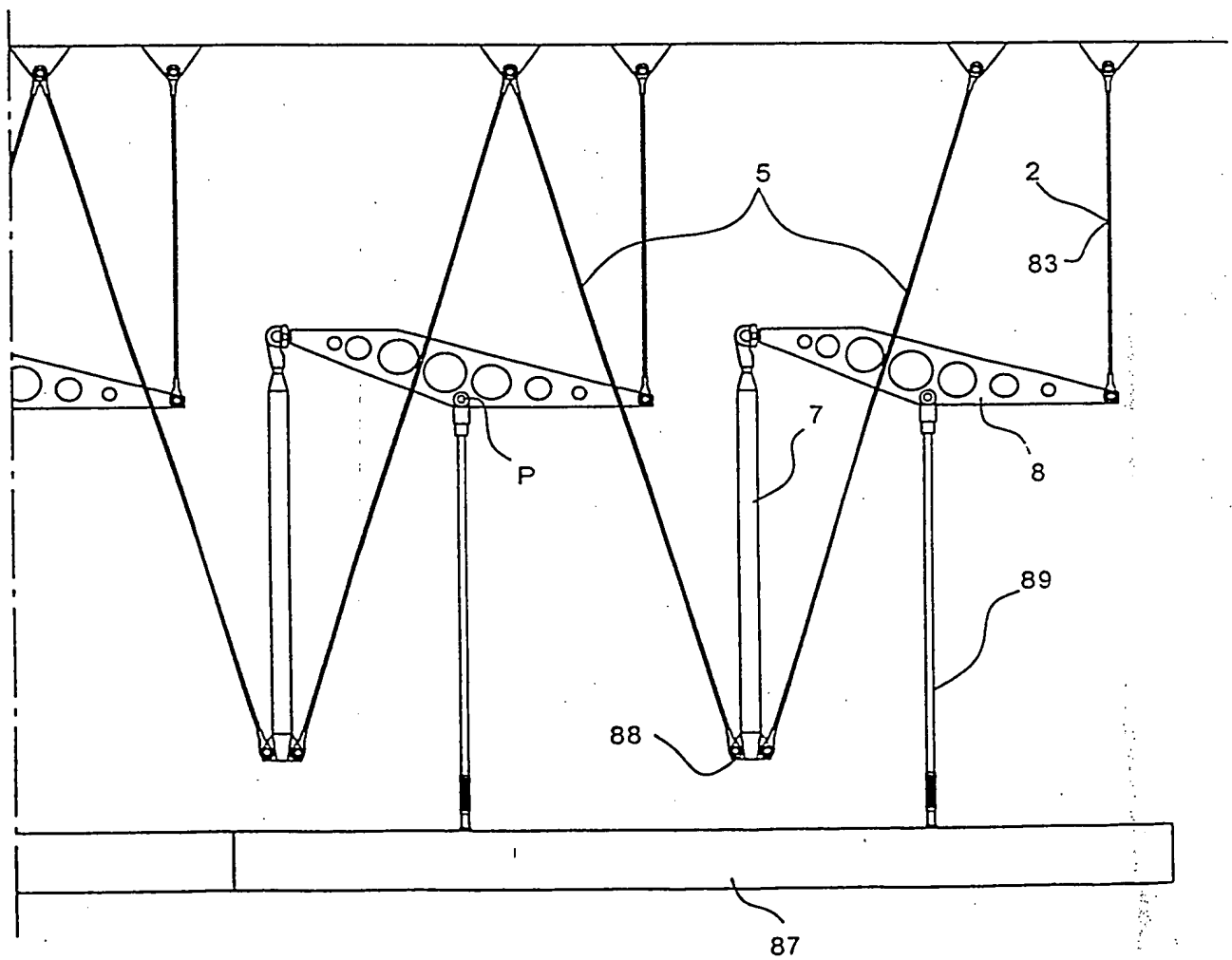


FIG.42



GEÄNDERTES BLATT



43 /70

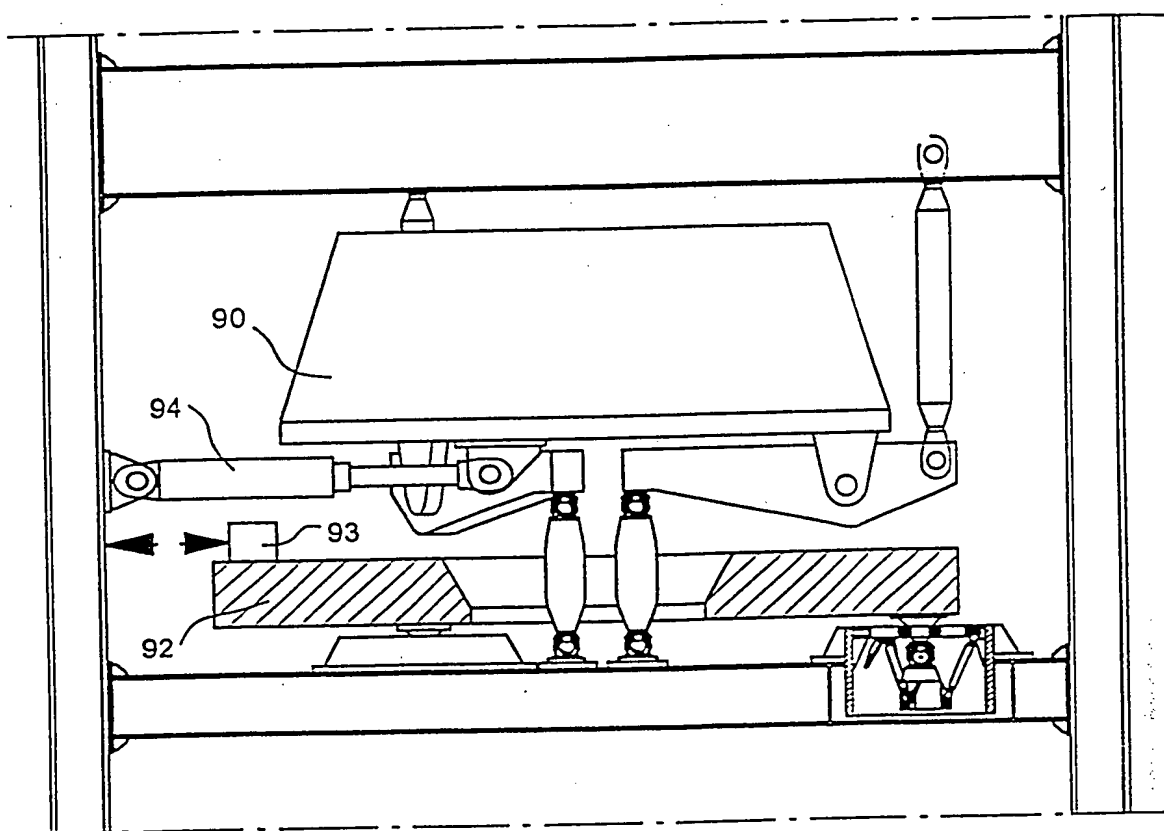


FIG.44

45 /70

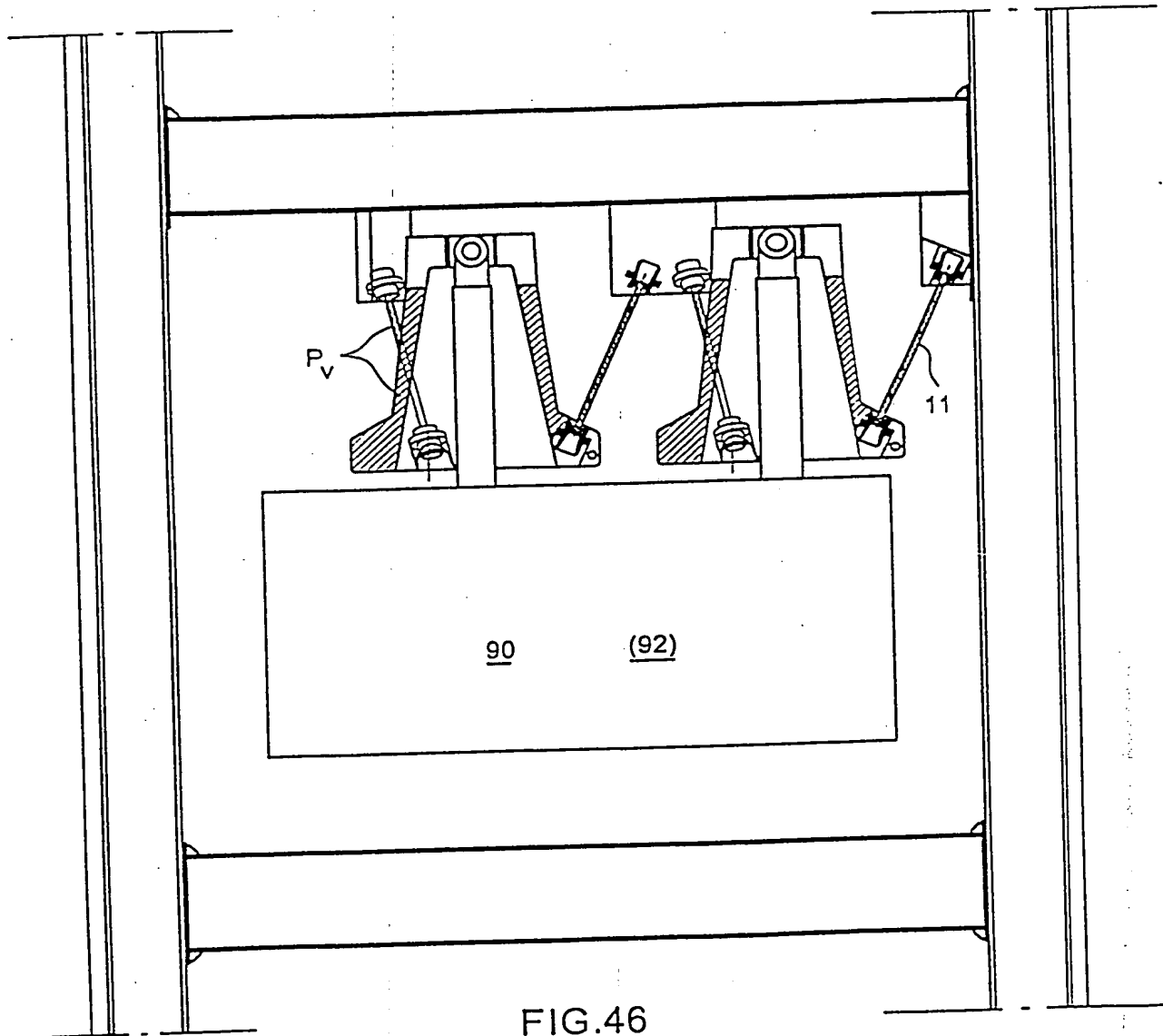


FIG.46

47 170

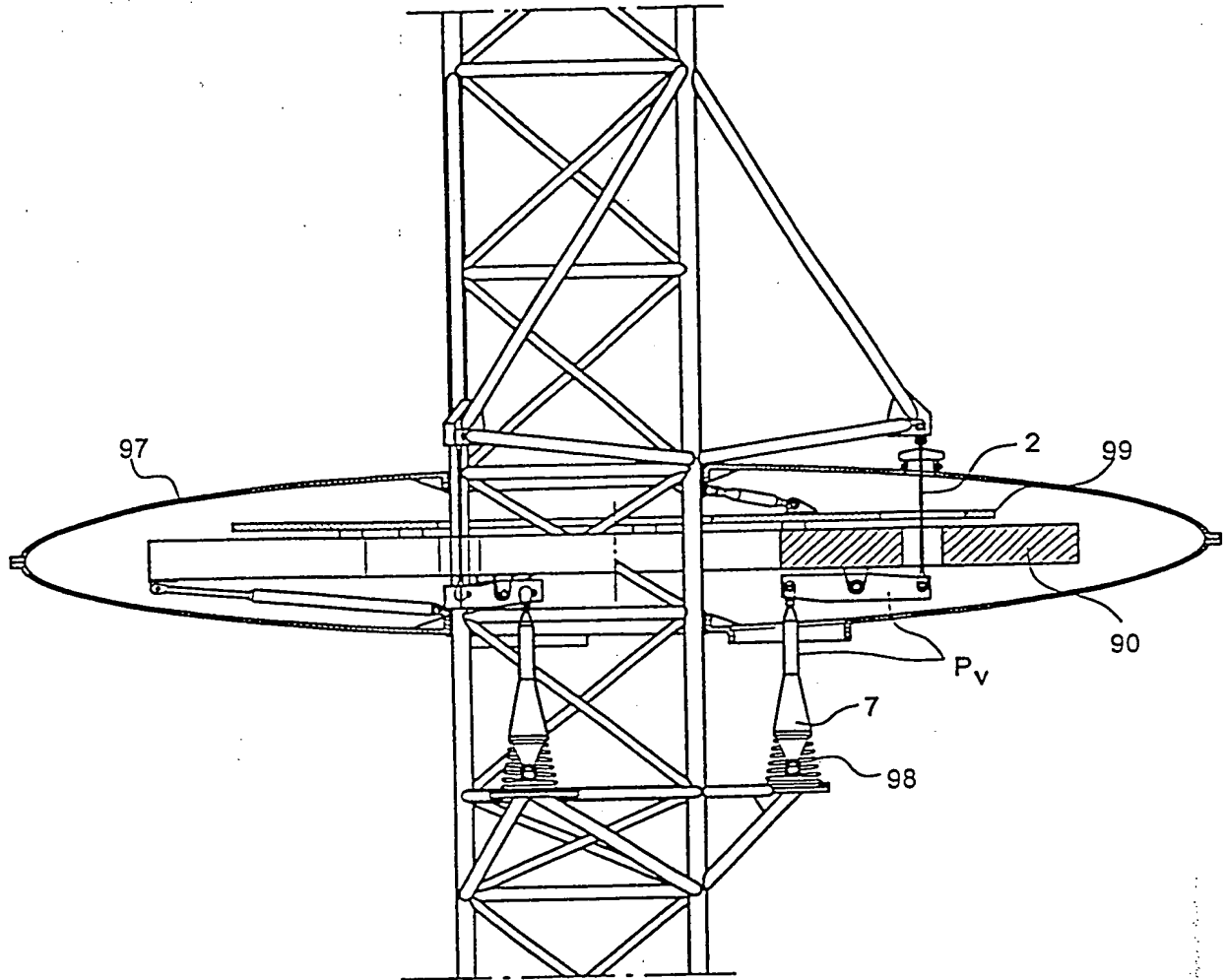
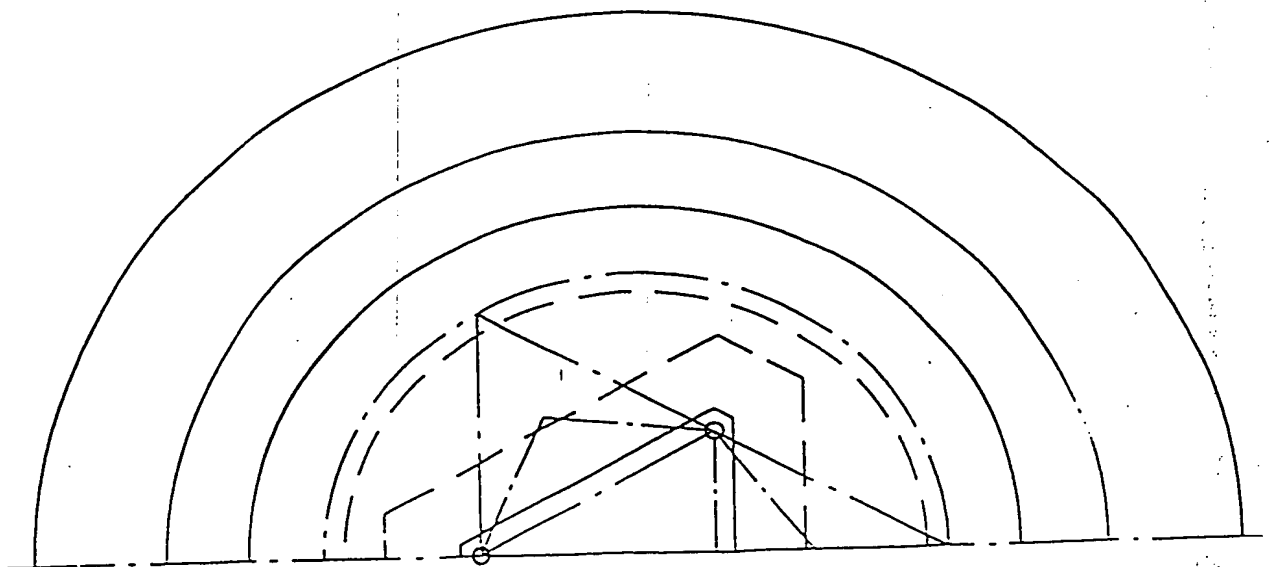


FIG.48



REDUCTIONS BLATT (DECEL 01)

49 /70

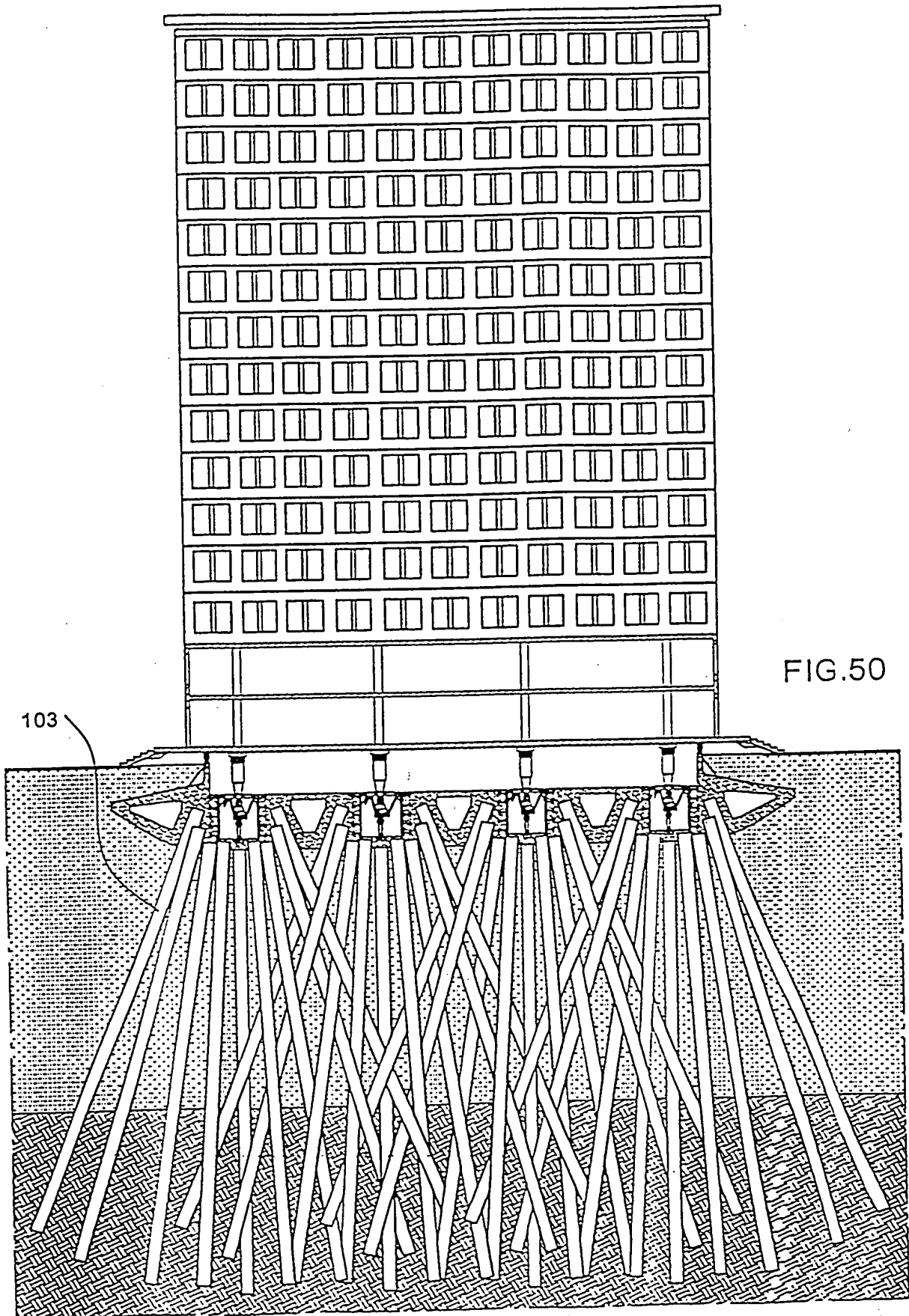
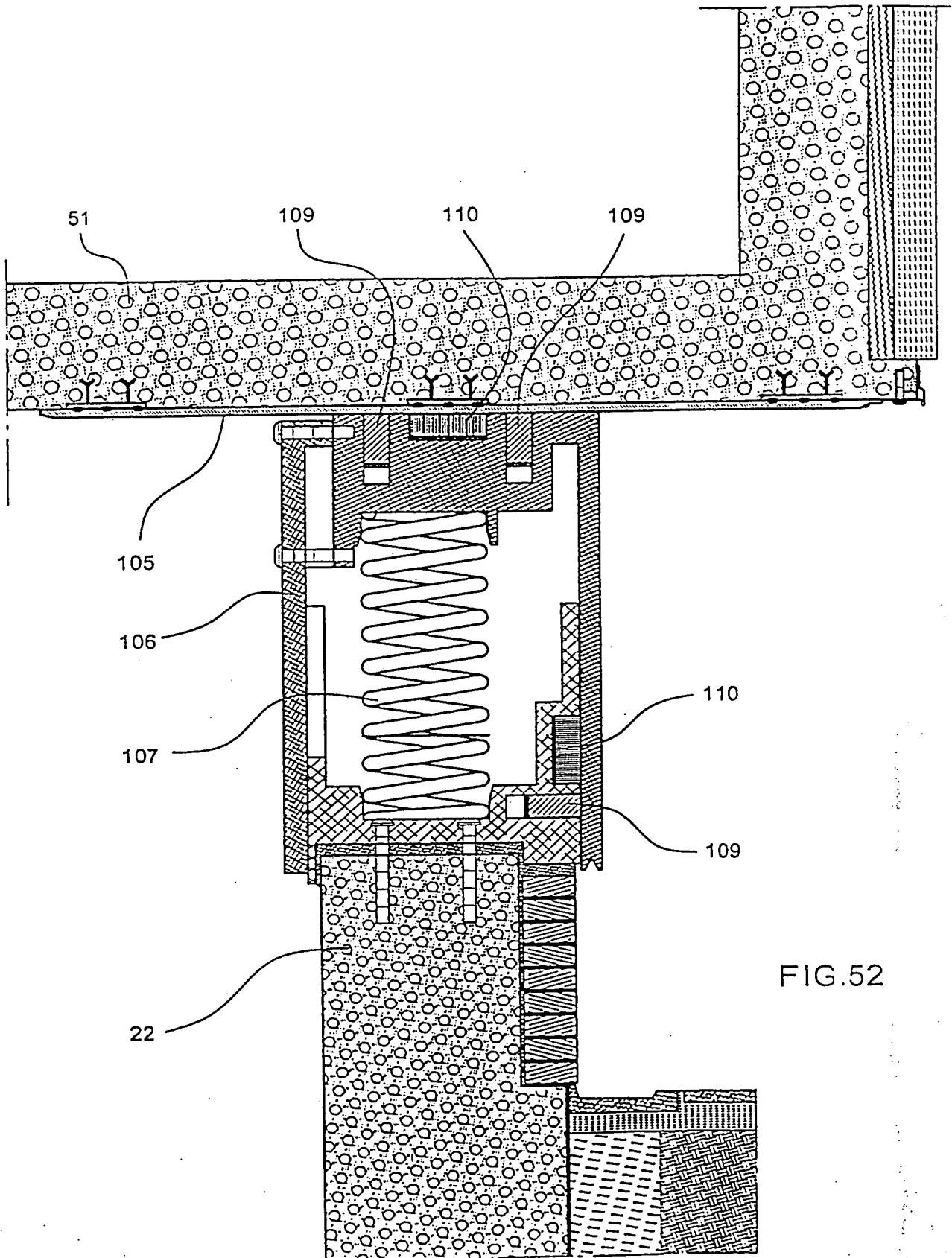


FIG.50

GERICHTIGES BLATT (REGEL 91)

51 /70



REHOLTIKTES BLATT (REGEL 91)

53 /70

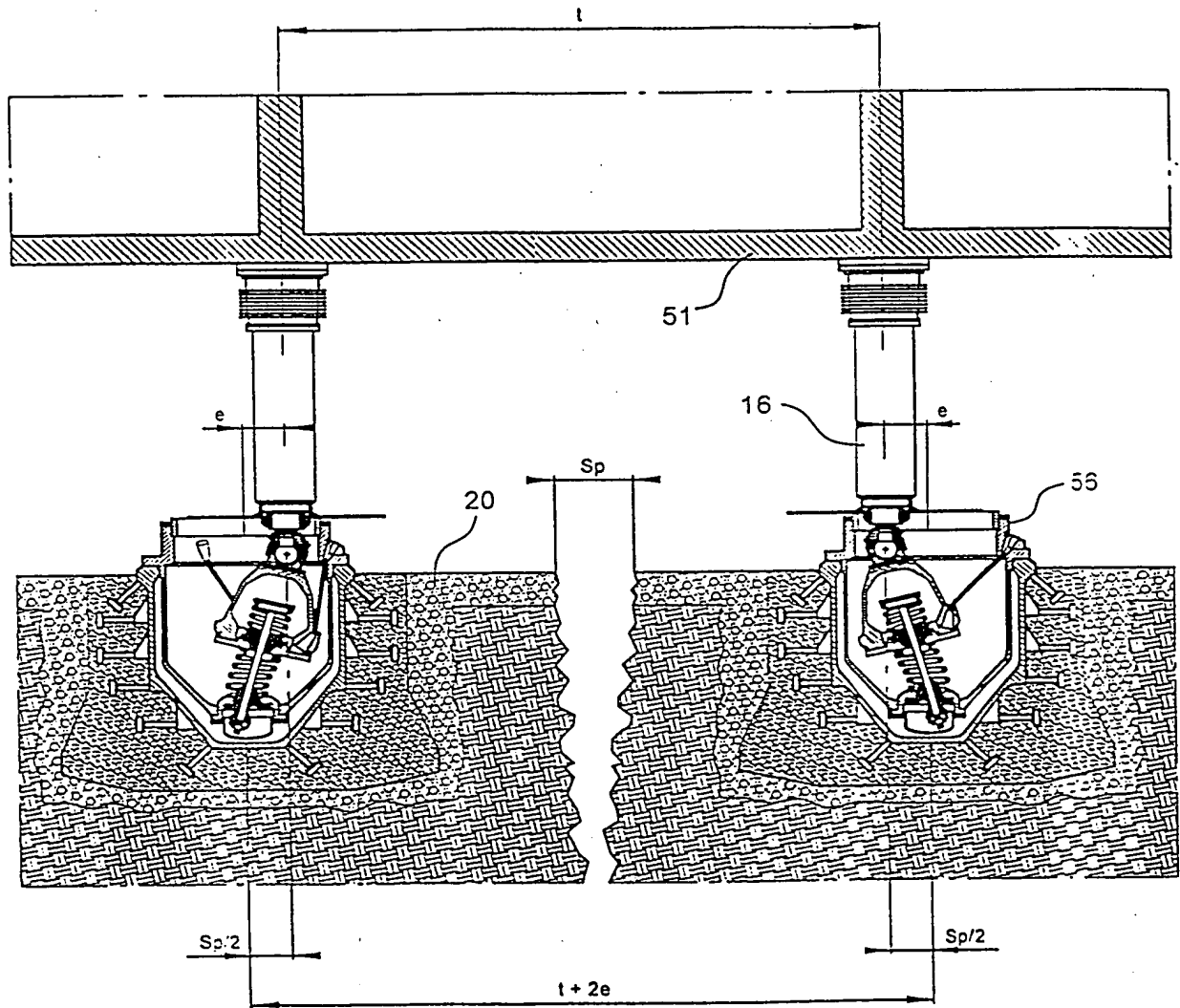
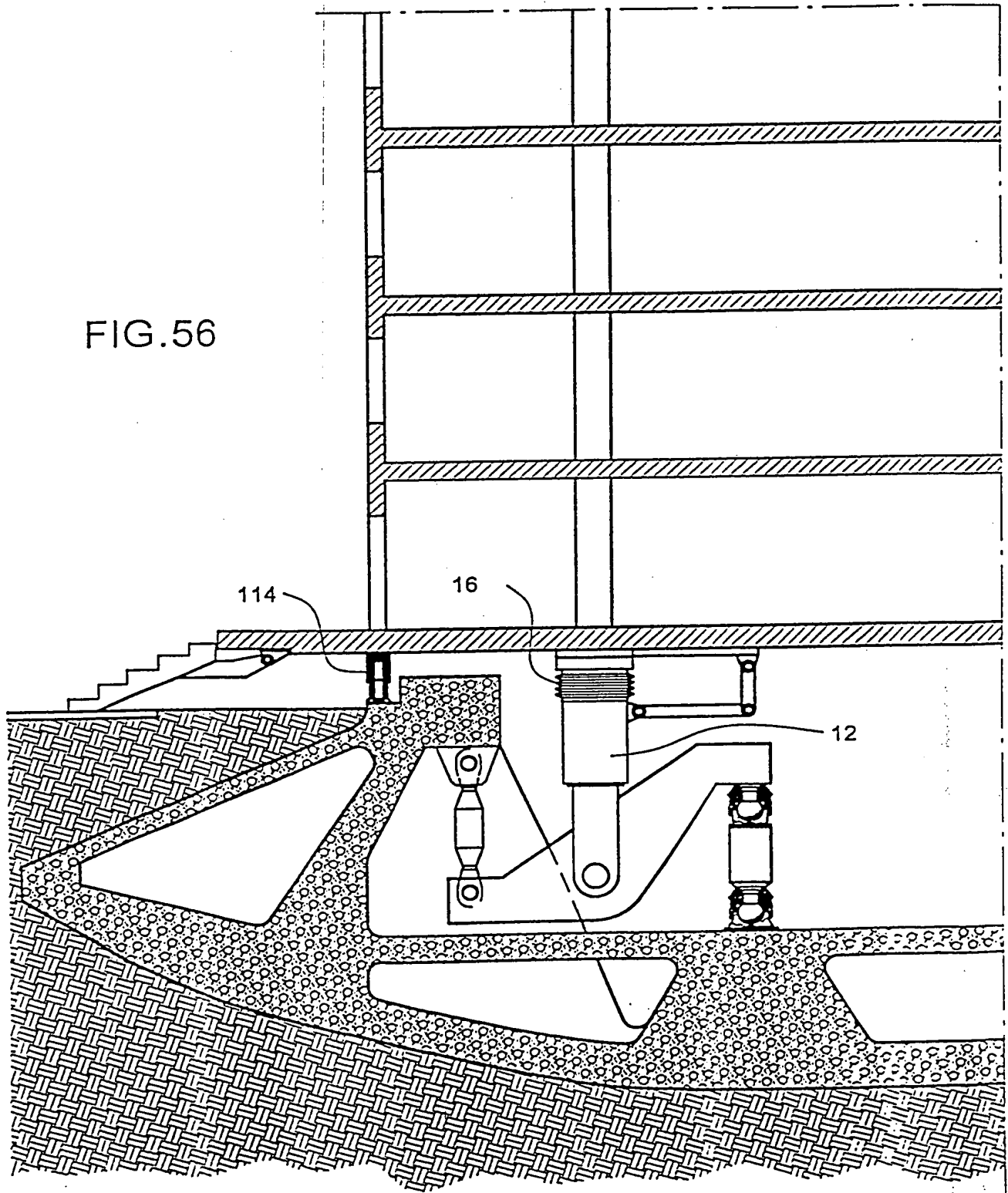


FIG.54

GEÄNDERTES BLATT

55 / 70

FIG. 56



GERICHTIGES BLATT (REGEL 91)

57 170

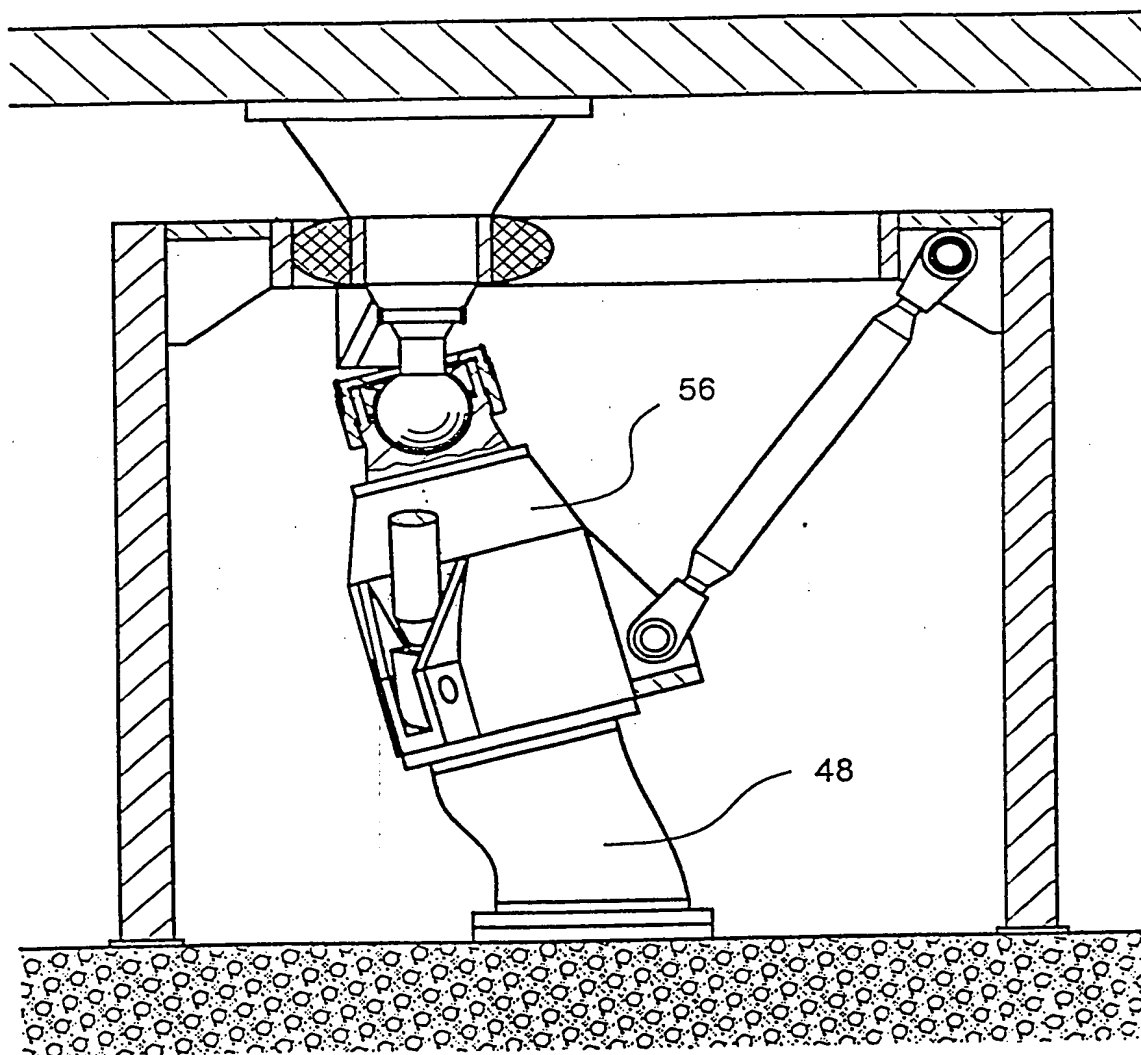
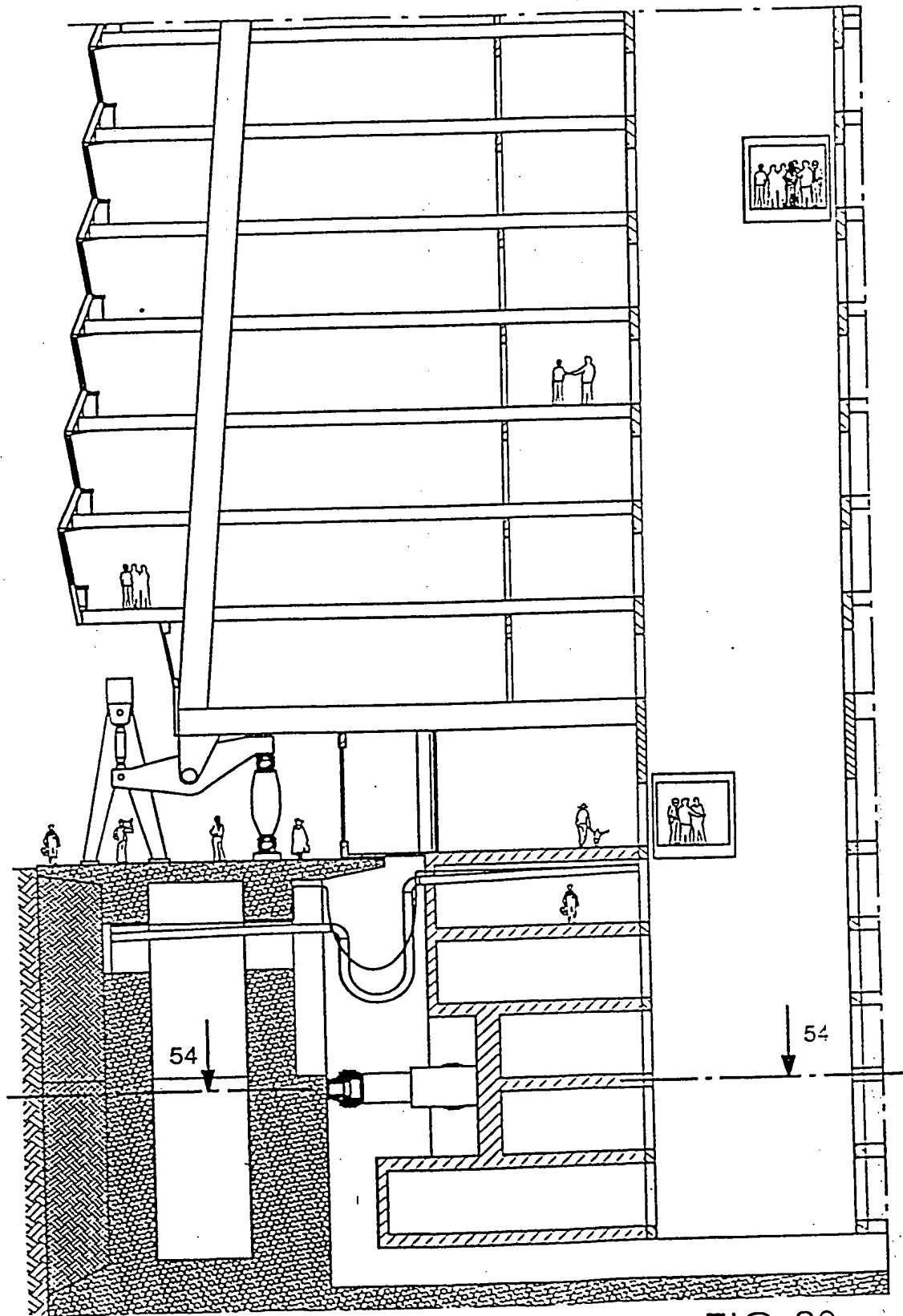


FIG.58



59 / 70



BERICHTIGTES BLATT (REGEL 91)

FIG. 60

61 /70

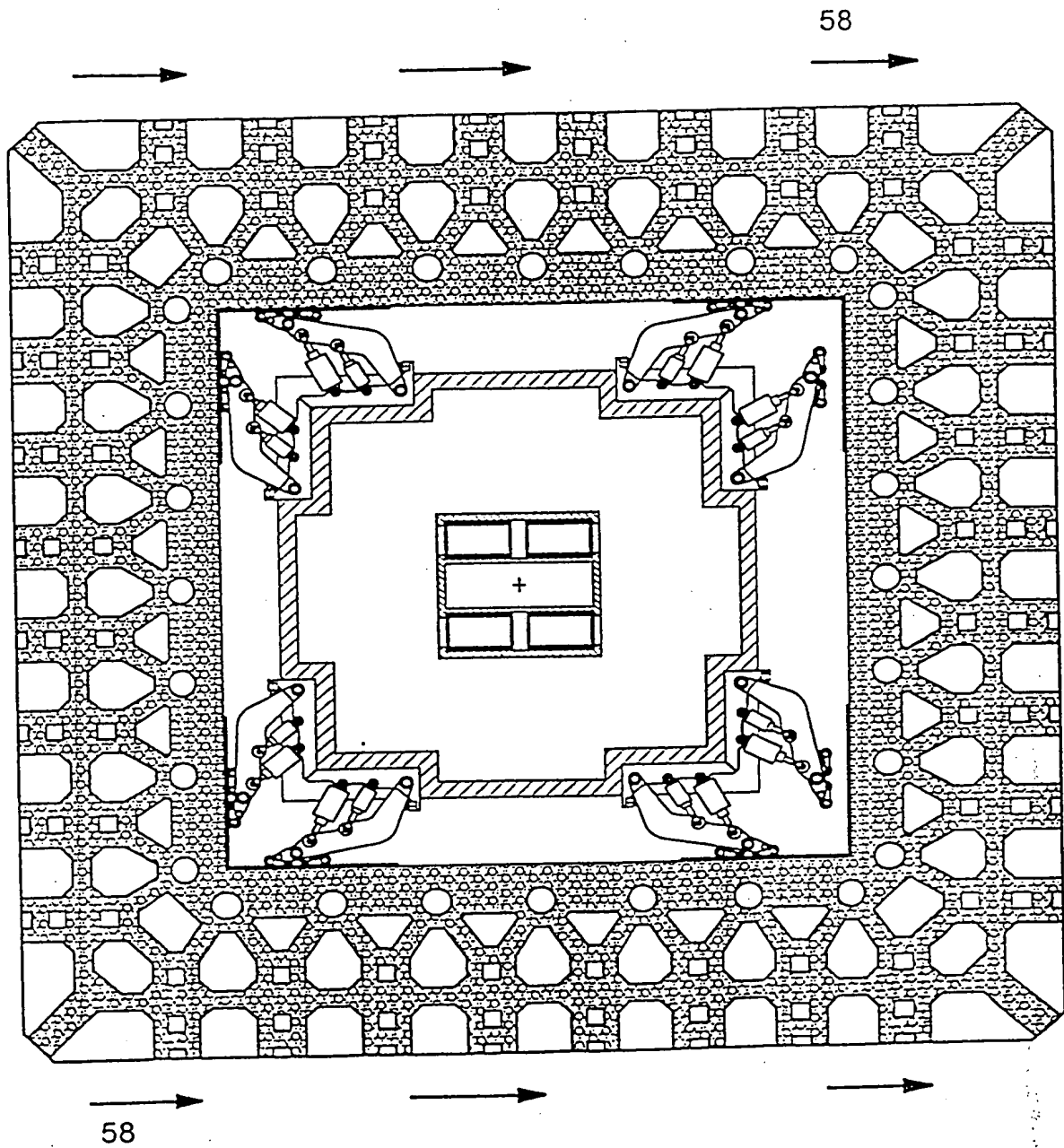


FIG.62

63 /70

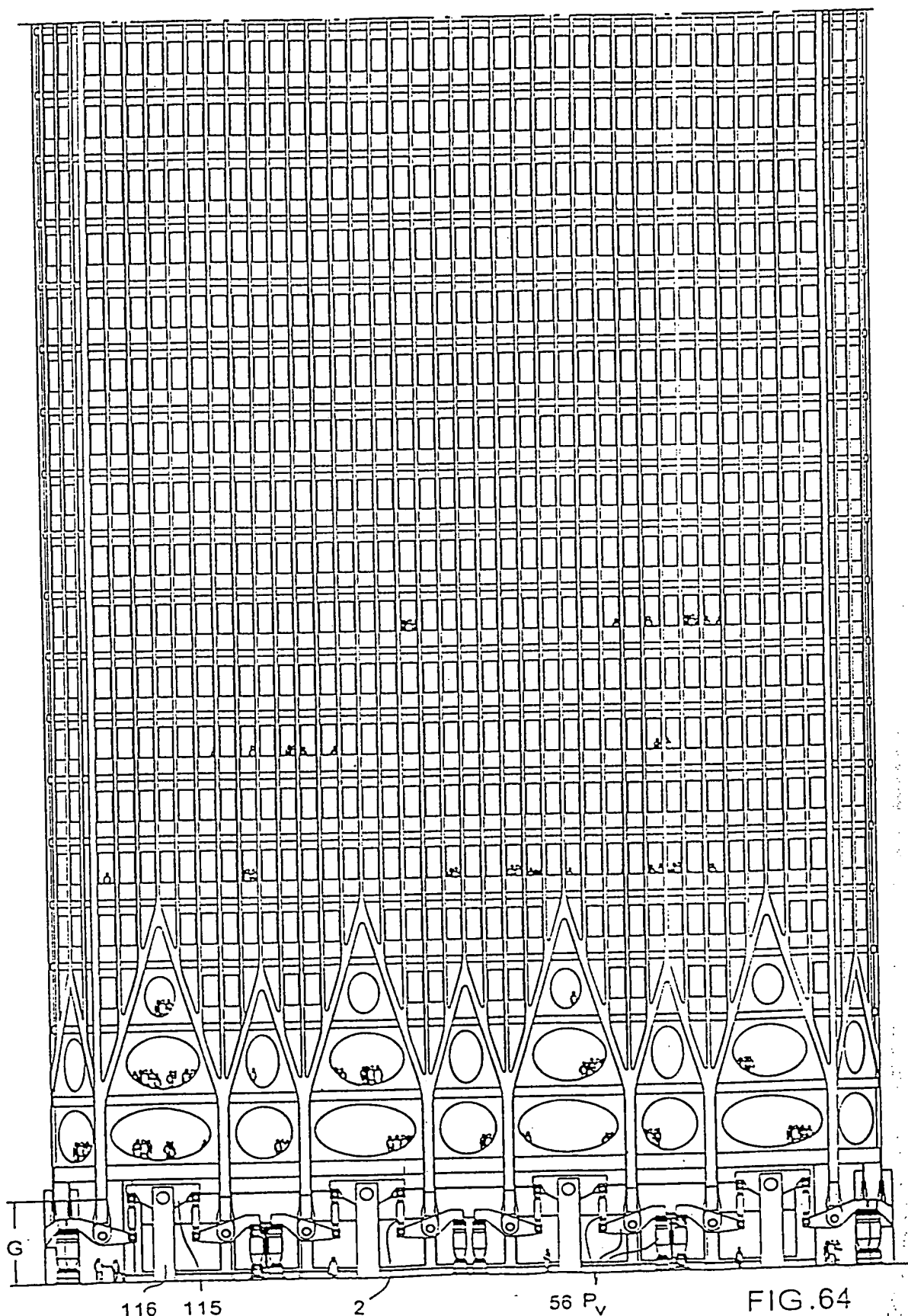
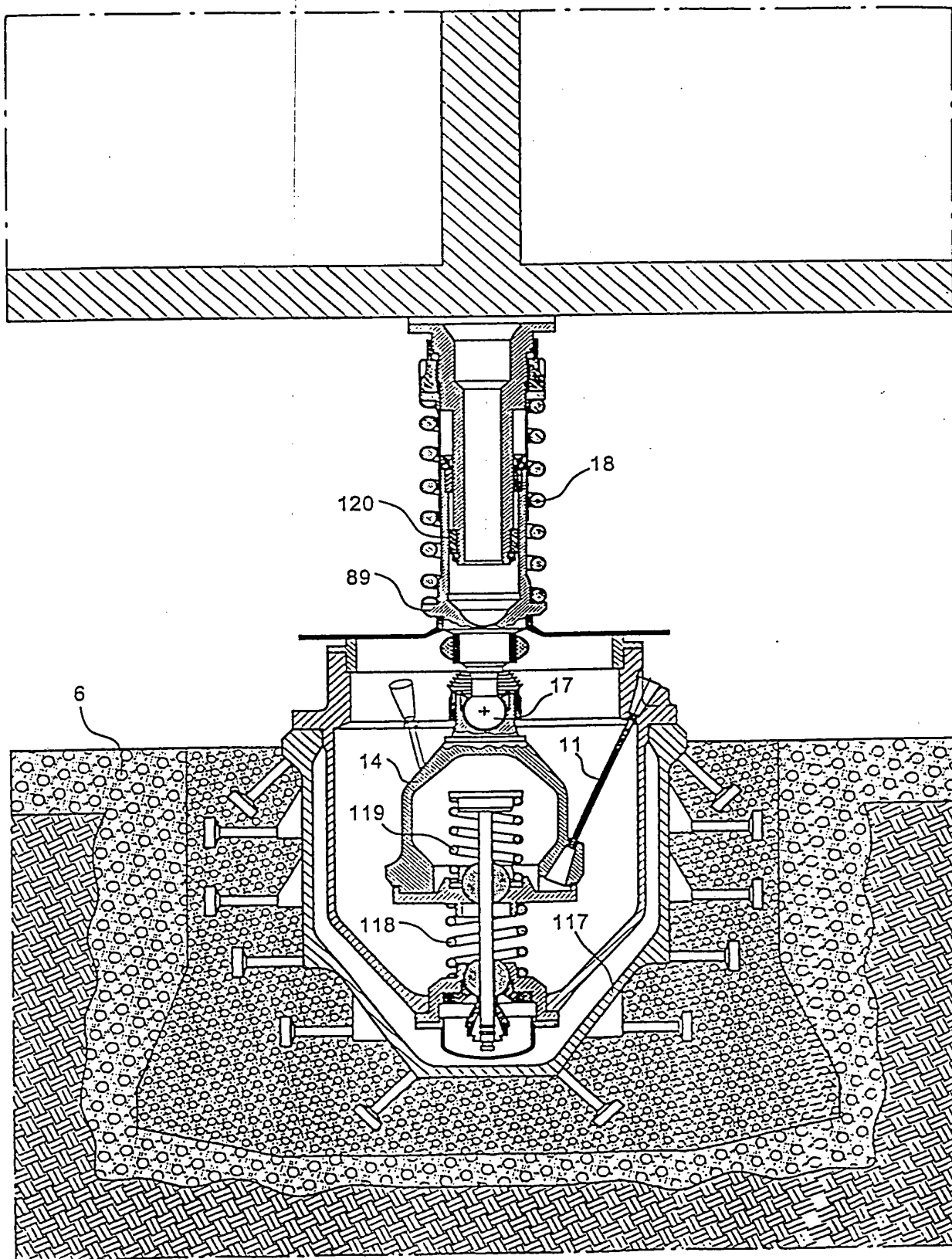


FIG. 64

PERFORATED PLATE (REF. 91)

65 /70



BERICHTIGTES BLATT (REGEL 91)

FIG.65

67 / 70

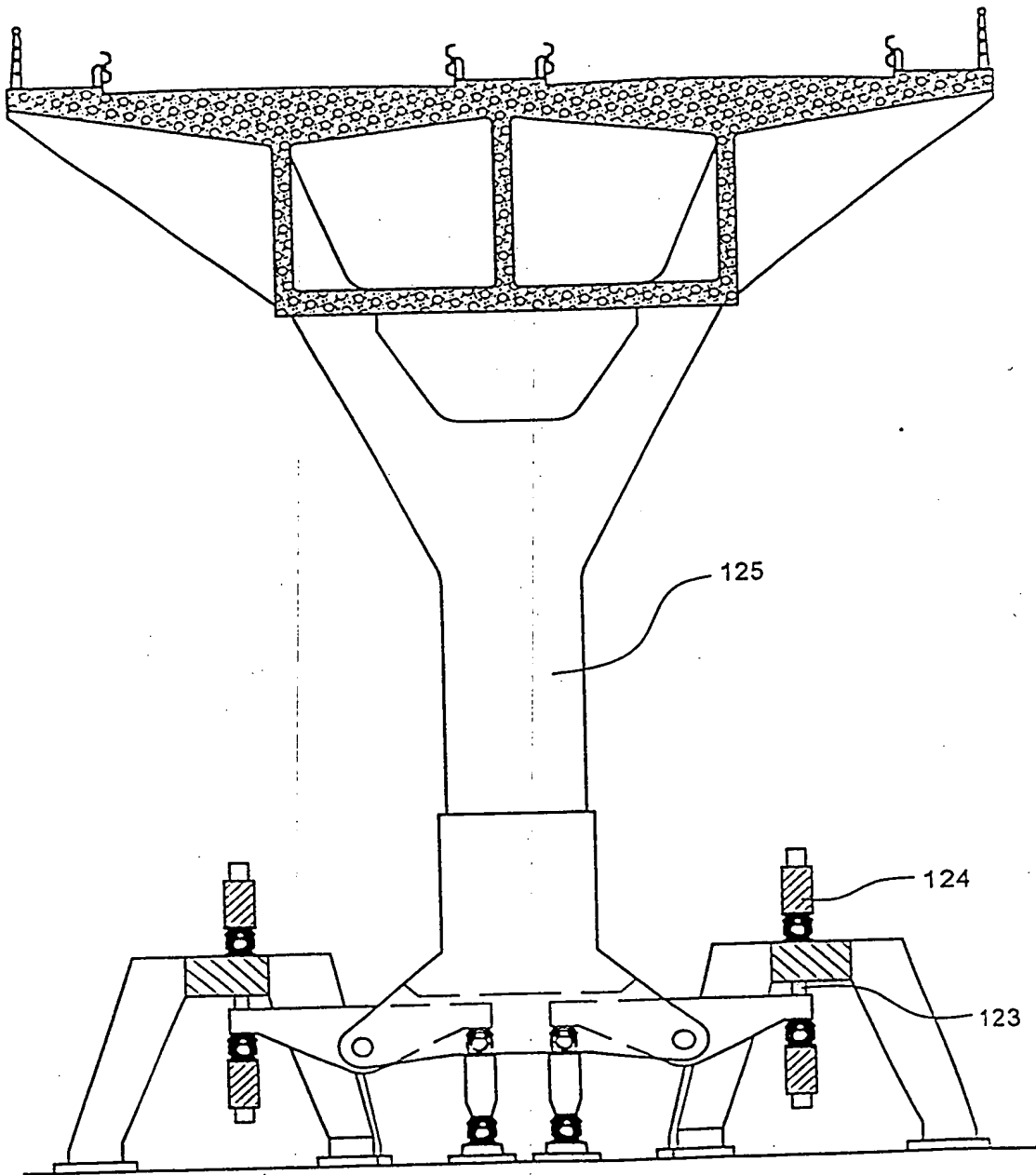


FIG. 67

69 /70

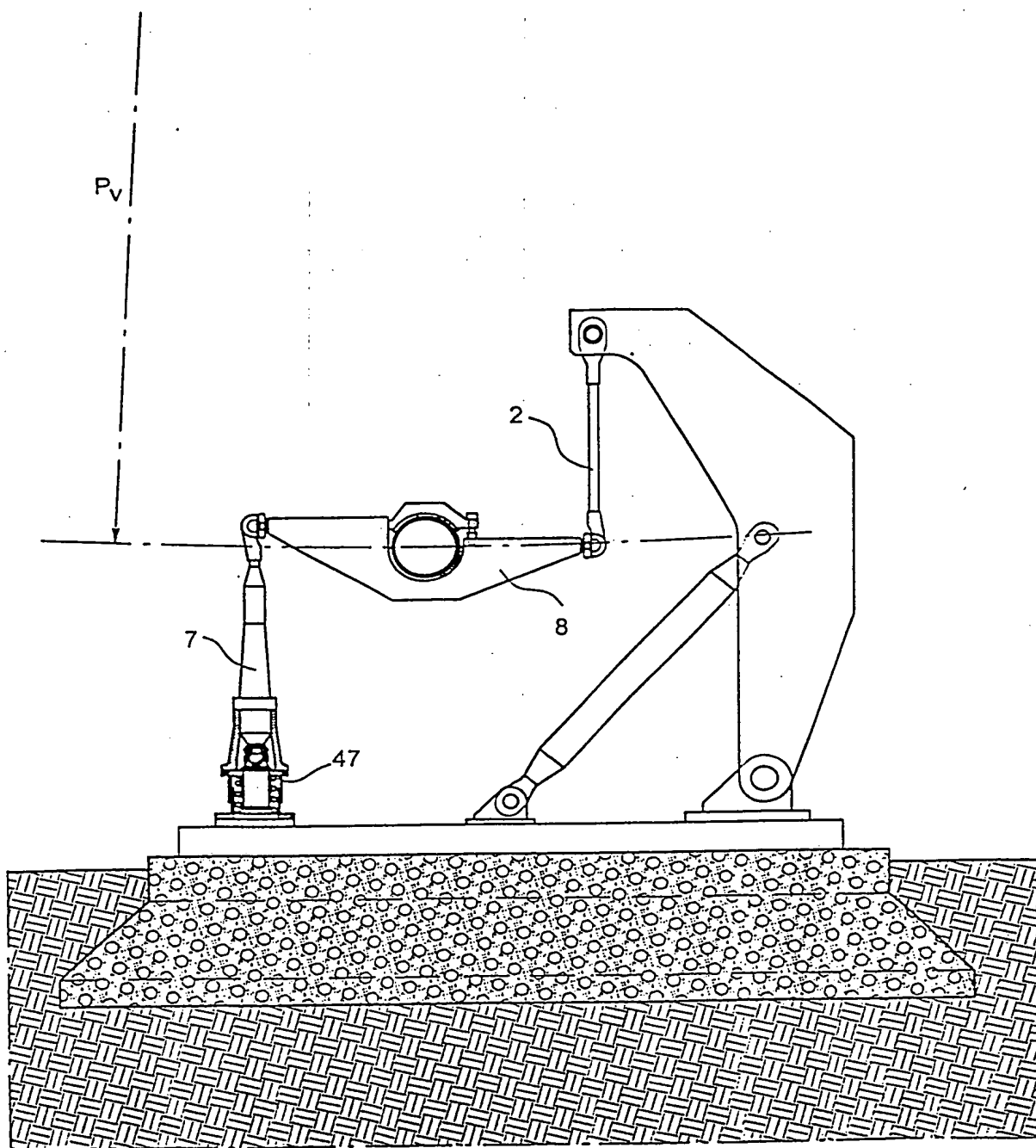


FIG.69

T18

# VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

09/485468

5000

**PCT**

## INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

REC'D 28 FEB 2000

WIPO

PCT



(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts B 1074-PCT	<b>WEITERES VORGEHEN</b> siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsbericht (Formblatt PCT/IPEA/416)	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP98/05158	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 13/08/1998	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 13/08/1997
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK E04H9/02		
Anmelder BIERWIRTH, Friedhelm		

1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationale vorläufigen Prüfung beauftragte Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 8 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.  
  
☒ Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).  
  
Diese Anlagen umfassen insgesamt 48 Blätter.

3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- I ☒ Grundlage des Berichts
- II ☐ Priorität
- III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- IV ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- V ☒ Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderische Tätigkeit und der gewerbliche Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen
- VII ☐ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
- VIII ☒ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags  16/12/1998	Datum der Fertigstellung dieses Berichts  03.12.1999
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:   Europäisches Patentamt - P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk - Pays Bas Tel. +31 70 340 - 2040 Tx: 31 651 epo nl Fax: +31 70 340 - 3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Kergueno, J  Tel. Nr. +31 70 340 2369  

# INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP98/05158

## I. Grundlage des Berichts

1. Dieser Bericht wurde erstellt auf der Grundlage (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten.*):

### Beschreibung, Seiten:

1-7,9-13,15,16,19, ursprüngliche Fassung  
22-27,30,35-37,39-42,  
46

17,18,20,21,28,29, eingegangen am 24/03/1999 mit Schreiben vom 24/03/1999  
31-34,38,43-45

8,14 eingegangen am 08/11/1999 mit Schreiben vom 08/11/1999

### Patentansprüche, Nr.:

3-29 eingegangen am 24/03/1999 mit Schreiben vom 24/03/1999

1,2 eingegangen am 08/11/1999 mit Schreiben vom 08/11/1999

### Zeichnungen, Blätter:

1/70,2/70,6/70,8/70, ursprüngliche Fassung  
9/70,14/70,20/70,  
23/70-26/70,29/70-34/70,  
42/70-51/70,  
54/70-70/70

3/70-5/70,7/70,10/70-13/70, eingegangen am 24/03/1999  
mit Schreiben vom 24/03/1999

15/70-19/70,21/70,  
22/70,27/70,28/70,  
35/70-41/70,52/70,  
53/70

2. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung, Seiten:  
☐ Ansprüche, Nr.:  
☐ Zeichnungen, Blatt:



# INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP98/05158

3. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)):

4. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

## V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

### 1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	1-29
	Nein: Ansprüche	
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	1-27,29
	Nein: Ansprüche	28
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche	1-29
	Nein: Ansprüche	

### 2. Unterlagen und Erklärungen

siehe Beiblatt

## VIII. Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Zur Klarheit der Patentansprüche, der Beschreibung und der Zeichnungen oder zu der Frage, ob die Ansprüche in vollem Umfang durch die Beschreibung gestützt werden, ist folgendes zu bemerken:

siehe Beiblatt

**Zu Punkt I**

**Grundlage des Berichts**

1. Die erste, unnummerierte Seite der Anmeldungsunterlagen (Gliederung), eingereicht mit Schreiben vom 30.12.1998, wird nicht als Teil der Beschreibung gemäß Regel 5.1 betrachtet und ist deswegen nicht den Anlagen beigelegt.
2. Die beantragte Abänderung der veröffentlichten Zusammenfassung kann nicht berücksichtigt werden, da sie gemäß Regel 66.5 PCT nicht als Änderung gilt. Die Übersetzung der Zusammenfassung wird unter der Verantwortung des Internationalen Büros angefertigt (Regel 48.3 c) PCT).

**Zu Punkt V**

**Begründete Feststellung nach Regel 66.2(a)(ii) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

1.1 Die US-A-4328648 beschreibt (vgl. insb. Fig 11) ein Verfahren zum Schutz von Objekten, insbesondere Gebäuden vor dynamischen Kräften aus Beschleunigungen einer Basis, z.B. bei Erdbeben, wobei in einem das Objekt tragenden System die Wirkung von stabilen, in jeder horizontalen Richtung pendelnd schwingfähigen, die Objektmasse anhebenden (bzw. absenkenden) Stützelementen (44) in der Weise durch Koppelung überlagert wird, daß bei wechselnder horizontaler Bewegung der Basis z.B. bei Erdbeben unter dem Einfluß einer Deplacierung der mit der Basis verbundenen Stützpunkte (34) der Stützelemente gegenüber der Lage der trägen Masse des Objekts eine Anhebung (demzufolge Absenkung) der Objektmasse auf den Stützelementen (40) auf den Koppelgliedern - bzw. auf den kombinierten Stütz- und Koppelgliedern - erfolgt, wodurch aufgrund einer Neigung der relativ zur Basis räumlichen Bewegungsbahn der Stützpunkte (34) eine in die Richtung der Ruhelage stabilisierende Rückstellkraft (70) durch die der Gravitation ausgesetzte Objektmasse entsteht, woraus bei Auftreten von hohen Querschleunigungen an der Basis eine geringe Objektbeschleunigung mit eigener Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.

1.2 Der Gegenstand des Anspruchs 1 unterscheidet sich somit vom Vorbekannten dadurch, daß die Stützelemente als Stützpunkte ausgestaltet sind, und daß das Objekt tragende System die Wirkung von stabilen, in jeder horizontalen Richtung pendelnd schwingfähigen, die Objektmasse anhebenden (bzw. absenkenden) Stützelementen - d.h. wie bei Fundstelle - und von labilen, in jeder horizontalen Richtung pendelnd schwingfähigen, (implizit bei einer Anhebung der Objektmasse) die Objektmasse absenkenden Stützelementen in der Weise durch Koppelung überlagert wird, daß bei horizontalen Bewegung der Basis eine nur geringe Anhebung der Objektmasse erfolgt, wodurch aufgrund einer geringen Neigung der relativ zur Basis räumlichen Bewegungsbahn der Stützpunkte eine nur geringe in die Richtung der Ruhelage stabilisierende Rückstellkraft durch die der Gravitation ausgesetzte Objektmasse entsteht, woraus bei Auftreten der hohen Querschleunigungen an der Basis dennoch eine nur geringe Objektbeschleunigung mit langer Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.

1.3 Bei selber Aufgabenstellung, nämlich Objekte, insbesondere Gebäude, vor dynamischen Kräften aus Beschleunigungen einer Basis zu schützen, zeichnet sich somit die Erfindung im wesentlichen einerseits dadurch aus, daß die Stützelemente des Objektes als Stützpunkte ausgebildet sind, und daß das Objekt tragende System die Wirkung von stabilen und labilen, pendelnd schwingfähigen Stützelementen der Koppelglieder oder der Stütz- und Koppelglieder kombiniert, woraus im Vergleich zum Stand der Technik die Schwingungsamplitude des Objekts im Prinzip beliebig verstärkt sein kann.

1.4 Es ist dem Fachmann allgemein bekannt, daß der Grad der Verschiedenheit der Eigenschwingung von der Schwingung der Basis das Bewegungsverhalten der an Pendeln aufgehängten Masse des Objekts bestimmt. Jedoch sind der Ausführung großer Pendellängen praktische Grenzen gesetzt, wodurch die Schwingungsentkoppelung von der schwingenden Basis unzureichend wird. Durch das beanspruchte Verfahren entsteht die Wirkung von in jeder Richtung schwingenden virtuellen Pendeln mit entsprechender Periodendauer, wodurch derartige Grenzen grundsätzlich inexistent werden. Die erfindungsgemäße Lösung wird vom gesamten Stand der Technik weder nahegelegt noch angeregt. Deswegen erfüllt der Anspruch 1 die Erfordernisse des Artikels 33(1) PCT.

2.1 Die oben zitierte Fundstelle beschreibt ferner eine Vorrichtung, wobei zur schwingungsentkoppelten Lagerung eines Objektes, insbesondere eines Gebäudes an seinen statischen Stützpunkten gegenüber einer schwingenden Basis zum Schutz des Objekts gegen Schwingungen der Basis die Abstützungen des Objekts auf jeweils einer derartigen Vorrichtung an einer Lagerstelle auf einem Koppelement (38-40) bzw. kombinierten Stütz- und Koppelement (38-40) erfolgt, das seinerseits über nach allen Richtungen pendelnd gelagerte Stützelemente (44), die es miteinander koppelt, an der schwingenden Basis abgestützt ist, und wobei die Dimensionierung und Anordnung der Stützelemente in ihrer Ausgangslage so getroffen ist, daß auf jedem Koppelement bzw. kombinierten Stütz- und Koppelement an der Lagerstelle des zu stützenden Objekts eine vergleichbare Bewegungsmöglichkeit in jeder horizontalen Richtung zustandekommt, wie sie das freie Ende eines in jeder Richtung - zweiachsig, vgl. Punkt VIII (a) - schwingfähigen Pendels in Form einer konkaven Kugelschale beschreibt, wodurch die Wirkung von in jeder Richtung schwingenden Pendeln entsteht.

2.2 Der Gegenstand des Anspruchs 2 unterscheidet sich somit vom Vorbekannten einerseits dadurch, daß die Lagerstelle als bestimmter Lagerpunkt - vgl. Punkt VIII (b) - ausgestaltet ist, und daß andererseits die Dimensionierung und Anordnung der Stützelemente in ihrer Ausgangslage so getroffen ist, daß ein derartiges Pendel dargestellt ist, welches für einen Lagerpunkt des Objekts auf dem Koppelement eine vergleichbare Bewegungsform ergibt, wie sie das freie Ende eines sehr langen - vgl. Punkt VIII (c) - virtuellen Pendels beschreibt.

2.3 Aus der JP-A-6264960 ist es bekannt, ein Objekt (6) mit einem Koppelement (3,5) zu verbinden, das seinerseits über pendelnd gelagerte Stützelemente (2), die es miteinander koppelt, an einer schwingenden Basis (7) abgestützt ist, und wobei die Dimensionierung und Anordnung der Stützelemente (2) in ihrer Ausgangslage so getroffen ist, daß das Koppelement (3,5) mit den an ihm angelenkten Stützelementen (2) ein virtuelles Pendel darstellt, das für einen Verbindungspunkt des Objekts mit dem Koppelement eine vergleichbare Bewegungsform ergibt, wie sie das freie Ende eines sehr langen Pendels, d.h. um ein Mehrfaches länger als die Pendellänge jedes Stützelementes, beschreibt. Anders formuliert ist die Bewegungsform des Verbindungs-

punktes ein Kreis, dessen Zentrum am Schnittpunkt der jeweiligen Achse des Koppelteils (5) bei den zwei dargestellten Lagen des sich bewegenden Objekts (6) liegt.

2.4 Bei dieser Fundstelle ist das Objekt nicht auf dem Koppelement abgestützt, wie bei der vorher genannten US-A-4328648, sondern an ihm aufgehängt, und alle vorhandenen Lager sind einachsig gelenkig, wodurch die Vorrichtung nur in einer Ebene arbeitet. Eine Anordnung der Lagerstelle als bestimmter Lagerpunkt bei der Vorrichtung gemäß der US-A-4328648 würde ferner im Voraus vom Fachmann als technisches Vorurteil betrachtet und ist bei der JP-A-6264960 auszuschließen.

2.5 Infolgedessen ist der Gegenstand des Anspruchs 2 weder durch irgendeine der beiden zitierten Fundstellen noch durch ihre Kombination angeregt. Somit erfüllt der Anspruch 2, und deshalb die abhängigen Ansprüche 3-27,29 die Erfordernisse des Artikels 33(1) PCT.

3. Da der Anspruch 28 nicht unmittelbar durch technische Merkmale eines vorherigen Anspruchs abgegrenzt ist, ist dieser Anspruch als unabhängiger Anspruch zu betrachten. Die beanspruchte Vorrichtung ist somit per se durch ein Fundament definiert, das an seiner Unterseite nach den Außenkanten ansteigend gewölbt ist, welches lediglich ein vorteilhaftes Anwendungsmerkmal der Vorrichtung gemäß Anspruch 2 verwirklicht, dem jedoch in sich keine erfinderische Tätigkeit zugrundeliegt. Artikel 33(3) PCT.

### **Zu Punkt VIII**

#### **Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung**

Die folgende Begriffe im Anspruch 2 werden als nicht eindeutig erachtet, Artikel 6 PCT:

(a) Der Begriff "zweiachsig" stellt eine unklare Abgrenzung der allgemeineren Definition "in jeder Richtung schwingfähig" des virtuellen Pendels dar.

(b) Der Begriff "Lagerpunkt (P)" ist insofern unbestimmt, als er zumindest dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig.32, bei dem das Lagerpunkt (P) eine einachsige

Lagerung is, nicht entspricht (vgl. dazu "stützpunkt (P) im Anspruch 1).

(c) Der Begriff "sehr langen (Pendel)" hat eine anerkannte Bedeutung nur relativ zur jeweiligen Länge der pendelnd gelagerten Stützelemente.

FBIE-PEQP/03

F. Blerwirth Erdbebensicherung

B 10749 PCT

8.51

17.05.1999

Die mögliche Nähe der Resonanzschwingung zu möglicher Schwingung des Erdbeben-Antwortspektrums lassen große Amplitudenverstärkungen in oberen Gebäudeteilen aufkommen.

5 Hierdurch ist es möglich, daß die von solchen Vorrichtungen getragenen Baukörper mit der entsprechenden Frequenz in verstärktes Schwingen geraten.

Bei solchen Vorgängen sind auch noch Gebäudeschäden möglich, und die Gefahr bleibt bestehen, daß bewegliche Einrichtungsgegenstände innerhalb des Gebäudes hin und her geschleudert werden und damit auch Schäden und Gefährdungen von Personen herbeiführen können.

### 10 3.4 Abgrenzung der neuen Lösung zum Stand der Technik

Bei besonders starken Erdbeben, mitunter BigShake oder MegaShake genannt, wird der Schutz der bekannten Schutzsysteme und aller anderen konventionellen Design-Methoden entsprechend den Bauvorschriften nicht ausreichend sein und sie werden versagen. Zerstörungen und die Anzahl von Todesopfern können katastrophale Ausmaße annehmen.  
15 Es hat Beben mit mehreren Hunderttausend Toten gegeben.

Bekannte Lösungen der Basisisolation ermöglichen der Gebäudestruktur gegenüber der Basis eine Verschiebbarkeit in engen Grenzen. Mit größer werdenden Schwingamplituden nimmt bei bekannten Schutzsystemen der Grad der Impuls-Reduktion ab. Bei Extrembeben besteht die Möglichkeit des Versagens.

20 Abgrenzend von bekannten Erdbebenschutz-Systemen ist die erfindungsgemäße Lösung weder eine Roll-, Gleit- oder Elastomer-Vorrichtung, die Energie absorbiert oder weggleitet, es ist ein Impuls nicht weiterleitendes System, das freie Bewegung gegenüber der Basis in jeder Richtung zuläßt, es erfolgt keine Energieabsorption oder -verteilung. Die erfindungsgemäße Lösung bewirkt, daß keine Übertragung der Bodenbewegung und kein Energietransfer auf  
25 das Gebäude erfolgt.

Die Erfindung, wie durch die Ansprüche definiert, zeichnet sich dadurch aus, daß horizontale Erdbebenschwingungen der Basis nicht auf das Bauwerk übertragen werden, das Objekt der oszillierenden Erdbebenbewegung der Basis nicht mehr folgen kann und das Gebäude in Ruhelage bleibt. Erdbebenschäden werden effektiv verhindert.

30 Die Erdbebenfrequenz und die Eigenfrequenz der von virtuellen Pendeln getragenen Struktur sind so weit entkoppelt, daß die Bewegung des Bodens nicht auf die gestützte Struktur übertragen werden kann. Das Prinzip ist ohne Änderung des Verhaltens voll wirksam bei jeder Erdbeben-Schwingfrequenz. Aus der in Ruhelage verbleibenden getragenen Masse wirken keine Reaktionskräfte aus Beschleunigungen auf die  
35 Gebäudestruktur zurück. Es entstehen keine Beschädigungen an dem Gebäude oder dem Interieur, selbst bei dem denkbar stärksten Erdbeben.

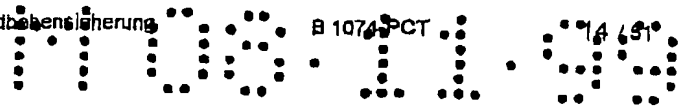
Dagegen übertragen elastomere Lager und reibungsbehaftete Gleitlager doch noch nicht geringe Schubkräfte in die Gebäudestruktur, was im Extremfall auch kritisch werden kann.

FBIE-PEOP/03

F. Bierwirth Erdbewässerung

B 1074 PCT

14.91



Wird bei Deplacierung der Masse aus der Ausgangslage durch die vorgegebene Bewegungsbahn die potentielle Energie verringert, so strebt die Masse unter Einfluß der Gravitations-Beschleunigung einer weiteren Verringerung der potentiellen Energie zu.

Die Lage der Masse ist instabil.

- 5 Mit der Koppelung und Überlagerung beider Einfüsse, der stabilen und der labilen Masseverlagerung wird durch geeignete Wahl der geometrischen Größen der Koppelglieder erreicht, daß die resultierende Bewegung der Masse zu einer geringen Anhebung und nur geringfügigen Erhöhung der potentiellen Energie führt, woraus eine langsame Rückführung in die Ruhelage und somit eine lange Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.

- 10 Dies ist die Wirkung eines langen Pendels.

Wenn erfindungsgemäß physikalisch kein langes Pendel vorhanden ist, jedoch die Wirksamkeit eines langen Pendels mit langer Periodendauer erreicht wird, so ist hier die Rede von einem virtuellen Pendel langer Periodendauer.

- 15 Das sogenannte virtuelle Pendel hat bei geringer Bauhöhe jedoch die Wirksamkeit eines langen Pendels mit langer Periodendauer der Eigenschwingung.

- 20 Wenn nun bei einer konstruktiv verfügbaren Raumhöhe und einer davon abhängigen Länge  $l$  des Pendels 2 die Anhebung  $h$  zu groß wird, so muß die Anhebung durch additive Überlagerung eines negativen Wertes also einer Absenkung verringert und dadurch eine resultierende geringe Anhebung erreicht werden, die dem Zielergebnis entspricht. Dies ist möglich, wenn man ein stabiles, hängendes Pendel und instabiles stehendes Pendel in geeigneter Weise miteinander koppelt und bei einer horizontalen Auslenkung der gekoppelten Stützglieder deren jeweiligen vertikalen Hübe, der einmal positiv und einmal negativ ist, addiert.

- 25 Da der Hubverlauf beider Stützglieder über der horizontalen Auslenkung harmonisch verläuft, weil sie unmittelbar von einer Kreisfunktion abhängen, so ist die Differenz beider Vertikalhübe ebenfalls über der horizontalen Auslenkung im Verlauf harmonisch, was der Anwendung des Prinzips für die Zielsetzung entgegenkommt.

**FIG.6** veranschaulicht diesen Zusammenhang. Der Massepunkt 3 des stabilen Pendels 2 mit der Länge  $l$  erfährt bei der horizontalen Auslenkung  $e$  die Anhebung  $h$ .

$$h = l \left[ 1 - \cos \left( \arcsin \frac{e}{l} \right) \right] \quad (4)$$

- 30 Das obere Ende des stehenden instabilen Pendels 7 mit der Länge  $l_s$  wird über der horizontalen Auslenkung  $e_s$  und den Betrag  $s$  vertikal abgesenkt.

$$s = l_s \left[ 1 - \cos \left( \arcsin \frac{e_s}{l_s} \right) \right] \quad (5)$$

Werden die Vertikalbewegungen beider Stützglieder addiert, erfolgt eine resultierende Anhebung mit dem Betrag  $h_{res}$

- 35 Die Relationen von  $\alpha : \beta$  und  $e : e_s$  werden beeinflusst von der Art der benutzten Koppelung und der frei wählbaren Relation von  $l : l_s$ .



Die Periodendauer der Schwingung des virtuellen Pendels ist

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{e^2 + h_p^2}{2g \cdot h_p}} \quad (9)$$

Die maximale Geschwindigkeit des Punktes P des freien Endes des virtuellen Pendels beträgt

$$v_{\max} = \frac{\sqrt{2g \cdot h_p}}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_p}{e}\right)^2}} \quad (10)$$

Die maximale Beschleunigung des freien Endes des virtuellen Pendels und damit des hierdurch gestützten Objekts beträgt

$$a_{\max} = \frac{2g \cdot h_p}{h_p^2 + e^2} \quad (11)$$

Die Stützelemente 2 können ebenso bei annähernd gleicher Wirksamkeit auch aus Seilstrukturen bestehen und dabei auf gelenkige Aufhängungen verzichten, sofern die Stützelemente 2 bei allen Belastungsfällen nur durch Zugkräfte belastet werden.

FIG.12 zeigt eine Variante des Prinzips.

Neben der Wahl der Relationen von  $l_n$  zu  $l_s$  und  $a$  zu  $b$  läßt sich über einen Winkel  $\gamma$  des Wirkhebels  $b$  des Koppelements 8 und ebenso auch durch Einführung eines Winkels am Wirkhebel  $a$  des Koppelements 8 die Charakteristik der Anhebung des Punktes P beeinflussen und damit die wirksame Länge des virtuellen Pendels bestimmen.

Die Auslegung der Dimensionen kann so erfolgen, daß die wirksame Länge  $l_v$  des virtuellen Pendels ein Vielfaches der Bauhöhe der das Objekt stützenden Vorrichtung beträgt.

Hierdurch ist es möglich, daß die Schwingfrequenz des virtuellen Pendels und seine von ihm getragene Masse  $m$  sehr wesentlich niedriger liegt als die Schwingfrequenz der Basis 6 bei Auftreten von durch Erdbeben hervorgerufenen horizontalen Bewegungen.

Dies bedeutet eine Entkopplung der Lage des von den virtuellen Pendeln getragenen Objekts von den horizontalen Bewegungen des Bodens.

Die maximal auf den Baukörper oder das getragene Objekt einwirkenden Beschleunigungen ergeben sich aus dem Bewegungsverhalten des mathematischen Pendels gemäß Gleichung (11).

Durch entsprechende Auslegung und Dimensionierung ist es möglich, diese maximale horizontale Beschleunigung auf so geringe Werte zu reduzieren, daß sie vom Menschen nicht mehr physisch wahrnehmbar ist. Diese Wirksamkeit ist unabhängig davon, welche horizontalen Beschleunigungen die Basis 6 durch ein Erdbeben erfährt.

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

Die Magnitude eines Bebens hat keinen Einfluß auf die geradezu ruhende Lage eines durch virtuelle Pendel großer wirksamer Pendellänge und langer Periodendauer getragenen Baukörpers.

5 **FIG.13** entspricht im Grundprinzip der Lösung nach **FIG.9** und **FIG.12**. Hierbei wird jedoch der Hebel mit der Wirklänge  $b$  von dem Hebel mit der Länge  $a$  getrennt und erhält eine eigene einachsige Lagerung in höherer Position an der Laststütze  $W_L$ , die anteilig die getragene Masse  $m$  stützt.

10 Bei dieser Lösung nehmen das hängende stabile Stützelement Pendel 2 und das stehende labile Stützelement Pendel 7 mit ihren jeweiligen Wirklängen  $l_h$  und  $l_s$  einen größeren Anteil von der verfügbaren Raumhöhe in Anspruch. Dadurch wird erreicht, daß bei gleich großem maximalen Winkelausschlag der zweiachsig gelenkig gelagerten Stützelemente 2 und 7 die verfügbare horizontale Schwingweite des Systems in Relation zur vertikalen Raumhöhe vergrößert wird.

15 Der Träger, Koppellement 8, wird über die Koppelstütze  $8_a$ , die beidseitig einachsig gelenkig gelagert ist, mit dem Träger, Koppellement  $8_b$ , verbunden, das seinerseits einachsig gelenkig an der Laststütze gelagert ist und sich zweiachsig gelenkig gelagert auf dem labilen Stützelement, dem stehenden Pendel 7, abstützt. Das Bewegungsverhalten entspricht dem Schema nach **FIG.9** und **FIG.12**.

20 **FIG.14** und **FIG.15** zeigen in zwei Richtungen die Schwingweitenmöglichkeit der getragenen Masse gegenüber der Basis.

**FIG.16** zeigt die Schwingmöglichkeit des getragenen Objekts gegenüber der Basis in drei Bewegungsphasen mit einem Schwinghub  $S$ .

25 **FIG.17** stellt dar, wie bei einem Schwinghub  $S$  der Basis 6 und des mit der Basis verbundenen virtuellen Lagerpunkts des virtuellen Pendels das stabile Stützelement, das hängende Pendel 2, durch die Pendelschwenkbewegung den unteren Laststützpunkt um den Betrag  $h$  anhebt und wie das labile Stützelement, das stehende Pendel 7, den oberen Laststützpunkt um den Betrag  $s$  absenkt, während das getragene Objekt 1 eine Anhebung  $h_p$  entsprechend der Hubbewegung des virtuellen Pendels  $P_v$  erfährt.

30 **FIG.18** Bei diesem Beispiel wird ein System mit einem Koppellement 9 in der Form eines Dreiecks betrachtet.

**FIG.19** zeigt die Draufsicht des Systems nach **FIG.18**. Das dreieckige Koppellement 9 ist an drei schräg unter einem Winkel  $\delta$  angeordneten an drei Stützpunkten 10 an der Basis 6 zweiachsig gelenkig aufgehängten Stützelementen 11 zweiachsig gelenkig gelagert.

35 Wird an einer Seite des Koppellements 9 ein Stützelement 11 an seinem unteren Gelenkpunkt 12 angehoben, dadurch daß sein oberer Stützpunkt 10 durch Verschiebung der Basis 6 vom Zentrum des Koppellements 9 weg nach außen verschoben wird, und dadurch, daß das Koppellement 9 wegen seines Beharrungsvermögens und der im Zentrum 13 auf dem Koppellement 9 abgestützten Masse eines Objekts gegenüber der Bewegung der Basis 6 zurückbleibt, so werden über das Koppellement 9 auf seiner gegenüberliegenden Seite die unteren Gelenkpunkte 12 der angelenkten Stützelemente 11 aufgrund der Schrägstellung in der Ausgangslage der Stützelemente 11 abgesenkt.

40

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

Die Wahl der Größe  $I_p$  wird begrenzt durch die Höhe, bei welcher das System instabil wird. Die Vorrichtung nach FIG.21 stellt ein virtuelles Pendel dar zur zweiachsig gelenkig gelagerten Abstützung eines Objekts im Punkt P, so als wenn das Objekt an einem langen Pendel mit der Länge  $I_v$  beziehungsweise  $p$  aufgehängt wäre, mit der Bewegungsfähigkeit auf einer gekrümmten Fläche mit dem Krümmungsradius  $p$ .

Mit  $e$  und  $h_p$  aus den Gleichungen (14) und (15) wird die Länge des virtuellen Pendels aus der Beziehung nach Gleichung (6) bestimmt.

Des weiteren gelten die Gleichungen (7) bis (11).

Die Stützelemente 11 können ebenso bei annähernd gleicher Wirksamkeit auch aus Seilstrukturen bestehen und dabei auf gelenkige Aufhängungen verzichten, sofern die Stützelemente 11 bei allen Belastungsfällen nur durch Zugkräfte belastet werden.

Dieser Laststützpunkt an den Erdbebenschutz-Modulen hat eine räumliche Bewegungsmöglichkeit, als wäre er das untere Ende eines sehr langen Pendels. Er bewegt sich also in einer flach gewölbten virtuellen sphärischen Schale.

In dieser Schale strebt der Laststützpunkt immer der tiefsten Stelle, dem Zentrum der Schale zu.

Je flacher die Schale gekrümmt ist, umso geringer ist die aus der Erdanziehung hervorgerufene Rückstellkraft zur Mitte hin und umso langsamer bewegt sich der Laststützpunkt in Richtung zum Zentrum.

FIG.22 zeigt ein weiteres Beispiel eines nach im Anspruch 1 definierten Verfahren gestalteten virtuellen Pendels.

An mit der Basis 6 verbundenen Tragstrukturen 5 werden mindestens zwei oder mehrere zweiachsig gelenkig gelagerte stabile Stützelemente, vertikal parallel hängende Pendel 2 gehalten, die einen an ihrem unteren Ende gelagerten Träger, oder ein Plattform-Koppelement 8 tragen.

Im Zentrum des Koppelements 8 ist ein in einem Vertikallast aufnehmenden Lager 59 gehaltenes vertikales Stützelement 14 angeordnet, das sich an seinem unteren Ende um zwei waagerechte Achsen schwenkbar in einem Gelenklager 43 axial verschiebbar, horizontal abstützt. In diesem Gelenklager 43 kann das vertikale Stützelement 14 um horizontale Achsen kippen.

Das Zentrum des Lagers 59 hat die gleiche räumliche Bewegungsfähigkeit wie die unteren Enden der hängenden Pendel 2 mit der Länge  $I_n$  und erfährt bei horizontaler Auslenkung  $e$  eine Anhebung um den Betrag  $h$ .

Das obere Ende des vertikalen Stützelements 14 erfährt in Einheit mit seiner Lagerung im Lager 59 die Anhebung  $h$ , der sich gleichzeitig die Absenkung  $s_e$  überlagert. Die resultierende Anhebung ist  $h_{res} = h - s_e$ .

In dem Beispiel der FIG.22 wird für das obere Ende des Stützelements 14 die resultierende Anhebung negativ, es erfolgt also eine Absenkung. Dieser obere Punkt wäre somit als Laststützpunkt ungeeignet.

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

Der obere Punkt beschreibt bei Verlagerung aus der Mittellage in allen Richtungen eine von oben gesehen konvexe Fläche, wie das obere Ende eines am unteren Ende gelagerten Pendels. Dies bildet ein umgedrehtes, instabiles virtuelles Pendel mit der Länge  $l_v$ .

Das Stützelement 14 ist bei vertikaler Belastung am oberen Ende in dieser Dimensionierung in Relation zu den Dimensionen der anderen gekoppelten Elemente 2 und 8 instabil.

Für sich allein ist das Stützelement 14 ohne Koppelung an andere Elemente ohnehin instabil. Erst durch Koppelung an andere Elemente, deren stabilisierender Einfluß unter Lasteinwirkung überwiegt, wird das Gesamtsystem stabil und bildet als Tragvorrichtung ein virtuelles Pendel.

Es muß, um Laststütz-Stabilität zu erzielen, die Länge  $l_p$  so gewählt werden, daß eine positive Anhebung  $h_{res}$  des oberen Punktes entsteht. Damit bewegt sich der Laststützpunkt in einer von oben gesehen konkaven Fläche. Dieser so gewählte Laststützpunkt P mit dem Abstand  $l_p$  von dem Lagerpunkt 59 erfährt bei Verlagerung aus der Mittellage eine geringe Anhebung  $h_p$  und stellt den Endpunkt eines virtuellen Pendels mit der Länge  $l_v$  dar.

FIG.23 zeigt die Krümmungen der Bewegungsbahnen der Traglastpunkte der hängenden Pendel 2, des Zentrums des Koppellements 8 und des Laststützpunktes am oberen Ende des vertikalen Stützelements 14.

FIG.23a, 23b, 23c zeigen Bewegungsphasen des getragenen Objekts 1 relativ zur Basis 6 in den Extremlagen und überlagert.

FIG.24 stellt in schematischer Darstellung ein virtuelles Pendel nach dem in FIG.22 und 23c erklärten Wirkungsprinzip dar, wobei die Stellung in Mittellage gezeigt wird sowie die Bewegungsphasen der Basis 6 in Relation zum getragenen Objekt 1. Bei der schwingenden horizontalen Verlagerung  $e$  der Basis 6 durch Erdbeben erfährt das getragene Objekt 1 durch das virtuelle Pendel eine Anhebung um den geringen Betrag  $h_p$ .

Die Relation der Größe des Schwinghubs  $s$  der Basis 6 zur Bauhöhe des Erdbebenschutz-Moduls  $H_M$  zeigt, daß bei einer durchschnittlichen Geschoßhöhe bereits relativ große Schwingweiten des Systems möglich sind.

Das Bewegungsverhalten entspricht dem des mathematischen Pendels. Die Zeitdauer der Eigenschwingung wird nur durch die wirksame Länge des virtuellen Pendels bestimmt.

Das Uhrenpendel zeigt dies anschaulich.

Bewegt sich der mit der schwingenden Basis verbundene obere Aufhängepunkt der Pendel 2 bei einem Erdbeben schnell hin und her, so kann die an dem unteren Ende des virtuellen Pendels hängende Masse wegen seiner durch das Pendel bestimmten Bewegungsträgheit der schnellen Umkehr der Bewegung des oberen Aufhängepunktes nicht mehr folgen. Bei schnellem Wechsel der Bewegungsrichtung verbleibt die getragene Masse nahezu auf der Stelle.

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

ausgebildet sein können, und verdichten auf der anderen Seite der Membran **28** ein Gas, Luft oder Stickstoff. Damit wirkt der Hydraulik-Zylinder wie eine Federstütze mit Gasfederung. Ist die Kolbenstange voll ausgefahren gegen den mechanischen Anschlag im Zylinder **40**, so befindet sich ein über die Kolbenstange gesteuertes Regelventil **29** in Öffnungsstellung. Der

5 Gasdruck in den Akkumulatoren drückt das Fluid durch die Drosselblende **30** über das geöffnete Ventil in den Rücklauf zum Vorratsbehälter **32**. Wird die Kolbenstange durch die Annäherung der Fundamentwand **20** an das Untergeschoß **22** des Gebäudekörpers in den Zylinder eingefahren, so wird das Regelventil **29** geöffnet und aus der Druckleitung **33** gelangt Fluid in die Hydraulik-Akkumulatoren **127**, so daß sich ein Druck aufbaut solange, bis

10 die daraus resultierende Kraft im Zylinder die Kolbenstange ausfährt und den Gebäudekörper wieder in seine Nullstellung bringt. Somit wird das Gebäude in seine Mittelstellung gebracht. Dieser Vorgang ist wirksam, wenn durch Windkraft das Gebäude wegen seiner leichten Verschiebbarkeit gegenüber der Basis aus seiner Mittelstellung geschoben wird. Da die Windkräfte sich nicht sprunghaft ändern, sondern zum Auf- und Abbau immer eine gewisse

15 Zeit notwendig ist, ist der Vorgang mit dem Zufluß und Abfluß von Fluid über die Drosselblende hinreichend schnell, um den Regelvorgang beim Sollwert, das heißt, das Gebäude in der Mittelstellung zu halten. Erfolgt die Annäherung der Basiswand an das Gebäude in schnellerer Folge, wie dies beim Erdbeben der Fall sein würde, so sind mit dem schnellen Einfedern des Kolbens und damit Öffnen und jeweils Schließen des Ventils in

20 schneller Folge über die Drosselblende **30** die Zu- und Abflüsse von Fluid in das Luftfeder-System und wieder heraus gering. Die Gasfederkraft im Zylinder **40**, die mit der jeweiligen Luftkraft zunächst in Balance war, variiert durch die flache Federkennung und das Ein- und Ausströmen durch die Drosselblende **30** in der Frequenz des Bebens bei Bewegungen des Kolbens und des Regelventils **29** nur gering. Das System kann so ausgelegt werden, daß

25 diese zur Beschleunigung wirksam werdenden Kräfte so klein bleiben, daß sie bezogen auf die Gebäudemasse nur sehr geringe wirksame Beschleunigungen in schneller Folge im Wechsel der Frequenz des Bebens zur Folge haben. Das Hydraulik-System wird zentral versorgt aus einem Vorratsbehälter **32** und über eine Pumpe **36**, die von einem Motor **34** angetrieben wird, der über einen Druckregelschalter **35** gesteuert wird. Die

30 Energieversorgung für den Antrieb könnte autonom durch Solar- oder Windenergie bereitgestellt werden. Die Hydraulik-Energie wird in einer Batterie von Hydraulik-Druckspeichern **38** gepuffert, so daß die Leistung der Pumpe **36** gering gehalten werden kann. Während eines Bebens steht reichlich externe Energie zur Verfügung, die in dieser Anlage gleichzeitig genutzt werden kann, so daß in einer Variante der Kolben der

35 Horizontalabstützung mit einer Kolbenpumpe **37** kombiniert wird. Während der schnellen Bewegung der Basis gegenüber dem Baukörper fördert somit diese Kolbenpumpe **37** Fluid aus dem Vorratsbehälter **32** in die Druckspeicher **38** und deckt damit den Massenstrom ab, der dadurch entsteht, daß Fluid aus dem Federungssystem, bestehend aus Zylinder **40** und Akkumulator **127**, über die Drosselblende **30** durch das mit der Frequenz des Bebens

40 während einer Halbschwingung öffnende Regelventil **29** in den Rücklauf fließt.

**Fig.29** zeigt eine Horizontalabstützung über eine Schwinge **39**. Mit einer solchen Ausführung sind besonders große Schwingausschläge und Abstandsänderungen zur Fundamentwand möglich. Die Schwinge **39** ist an einem am Gebäudekörper befestigten Gestell **46** gelagert und über einen Zylinder **40** oder mehrere Zylinder an der Gebäudewand

45 des Untergeschosses **22** abgestützt und trägt am Ende ein Rollenfahrwerk mit einer oder je nach Abstützungslast mehreren Rollen **25**, die sich auf einer Lamellen-Laufbahn **26** an der

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

- Wand des Fundaments 20 bewegen können. Anstelle von Rollen können auch Verwendung finden mit entsprechenden Gleitwerkstoffen. An dem Gestell 46 befindet sich ein Regelventil 29, welches von der Schwinge 39 betätigt wird und die gleiche Funktion, wie in dem Beispiel nach Fig.28. Im übrigen entspricht die hydraulische Ausrüstung der, wie in dem Beispiel nach Fig.28.

- Auch diese Vorrichtung wird pro Bauwerk in mindestens sechs Exemplaren benötigt, um die Soll-Lage des Gebäudes in drei Achsen, nämlich in zwei horizontalen und einer vertikalen Achse zu erhalten. Diese Schwingausführung der Horizontalabstützung ermöglicht große Beträge der Schwingweite des Gebäudes gegenüber der Basis.
- Das Federungssystem, bestehend aus dem Hydraulik-Zylinder 40 und nachgeschaltet an Hydraulik-Akkumulatoren wie dem Beispiel gemäß Fig.28, hat ohne äußere horizontale Verschiebekräfte durch Wind eine Anfangs-Federkennung nach der Funktion

$$F_0 = C_0 \cdot f \quad (22)$$

- wobei  $f$  der Federweg ist. Bei größeren Federwegen erfolgt die Kennlinie nicht linear, sondern aufgrund der Verdichtung des Gases entsprechend der Funktion einer polytropen Kompression. Bei wechselnder Verlagerung des Fundaments gegenüber dem getragenen Baukörper um den Betrag  $\varepsilon$  wird die durch die Federung entstehende Kraft  $\Delta F_0$  wirksam als Beschleunigungskraft auf die Baukörpermasse. Bei Wind steigt die Abstützkraft des Systems entsprechend der Windkraft selbsttätig an, wie im Beispiel nach Fig.28 beschrieben, ohne daß der Baukörper sich wesentlich in seiner Lage verändert hat. Erfolgt nun, während eine Windlast  $F_w$  abgestützt wird, gleichzeitig eine Bewegung durch Erdbeben und eine Verlagerung der Basis gegenüber dem Gebäude um den Betrag  $\varepsilon$ , so steigt die Kraft in dem Abstütz-Federungssystem an nach der Funktion

$$F_w = C_2 \cdot f + F_w \quad (23)$$

- Diese Funktion hat eine etwas höhere Steilheit als die, die vom Nullpunkt ausgeht, weil sich das Verhältnis von verdrängtem Fluid-Volumen bei Einfederung zum Gasvolumen verändert hat. Bei der Einfederung um den Betrag  $\varepsilon$  ist nun die Abstützkraft um den Wert  $\Delta F_w$  angestiegen und nur diese Differenzkraft  $\Delta F_w$  wirkt sich als Beschleunigungskraft auf die Gebäudemasse aus und ist nicht viel größer als die Kraft  $\Delta F_0$  bei Windstille.

- Fig.30 stellt im wesentlichen eine gleiche Horizontalabstützung über eine Schwinge dar, wie sie für Fig.29 beschrieben ist. Diese Vorrichtung ist zusätzlich ausgerüstet mit einer Kolbenpumpe, die zwischen der Schwinge 39 und dem Gestell 46 angeordnet ist wie der Zylinder 40. Die Kolbenpumpe 37 hat die gleiche Funktion, wie sie bei der Vorrichtung gemäß Fig.28 beschrieben ist.

- FIG.31 zeigt das Prinzip eines Zentrier- und Windkraftkompensations-Systems, bei dem unter den Untergeschossen eines Gebäudes 51, das von Erdbebenschutz-Modulen 56 gestützt wird und das gegenüber der Fundamentwand 20 gegen Windkraft durch Zentrierung und Windkraft-Haltevorrichtungen 27 horizontal abgestützt wird, ein separater Gebäudeteil mit einem oder mehreren Untergeschossen 22 von dem oberen Gebäude getrennt auf eigenen Erdbebenschutz-Modulen 56, vertikal gestützt wird.

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

Wenn über dem Hub des Zylinders durch eine Vertikalbewegung der Basis das Volumen des im Zylinder verdrängten Fluids im Verhältnis zum Volumen im Hydro-Druckspeicher gering ist, so steigt der Druck im Hydraulik-Druckspeicher nur gering an.

- 5 Der Quotient aus Druckanstieg zum Ausgangsdruck stellt den Beschleunigungsgrad bezogen auf 1g dar, mit dem die getragene Masse eine Vertikalbeschleunigung bei vertikalen Bodenbewegungen erfährt. Durch entsprechende Auslegung kann so jede gewünschte Beschleunigungs-Reduzierung erreicht werden. Besonders vorteilhaft lassen sich mit viskoelastischen Fluids sehr flache Federungskennungen erzielen.

- 10 **FIG.33** zeigt eine der Ausführung nach **FIG.32** vergleichbare Vertikalfederung, nur daß hier die Federstütze **69** auf einem Erdbebenschutz-Modul **56** nach dem Schema gemäß **FIG.21** gestützt ist, in das eine Zentrier- und Windkraft-Abstützvorrichtung **70** nach dem Schema gemäß **FIG.25** integriert ist. Die Hydraulik-Anschlüsse **65**, **66**, und **68** sind wie im Beispiel nach **FIG.32** Zu- und Rückfluß für das Fluid sowie die Verbindung zu Hydraulik-Druckspeichern **38**.

#### 15 4.7 Erdbebensicherung von Objekten auf Pfählen durch virtuelle Pendel

Objekte wie Beleuchtungskörper oder Anzeigetafeln auf Masten oder Pfählen laufen bei starken horizontalen Bodenschwingungen Gefahr abzuknicken oder abzubrechen, da Bewegungsverstärkung und Zunahme von maximaler Beschleunigung durch Schwingungsresonanz entstehen kann.

- 20 Während die Basis bei Bodenschwingungen in horizontaler und vertikaler Richtung im wesentlichen in ihrer Lage der Ausgangslage parallel bleibt, so erfährt das obere Ende eines Pfahles oder Mastes als Basis eines Objekts oder eines Erdbebenschutz-Moduls eine zusätzliche Bewegungsachse durch Biegung des Pfahls und eine Neigung der erhöhten Basis durch Schiefstellung, wie

- 25 **FIG.34** dies veranschaulicht. Die Größe der an der Mastspitze getragenen Masse hat einen starken Einfluß auf das Schwingverhalten des Mastes. Das Biegemoment aus der Massenreaktionskraft bei Horizontal-Beschleunigung ist bei Masten ohne Toplast geringer und nur durch die eigene Masse verursacht, die Biegung und der Neigungswinkel des oberen Ende des Mastes werden geringer.

- 30 Wird zwischen Mastende und getragenen Objekt ein Erdbebenschutz-Modul angeordnet, so wird die Mastspitze nur noch zusätzlich durch die Masse des Erdbebenschutz-Moduls belastet, die wesentlich geringer sein kann als die Masse des getragenen Objekts. Der Biegewinkel des Mastendes wird dadurch geringer.

- 35 Damit das getragene Objekt nicht der zusätzlich vorhandenen Neigungsänderung des Mastendes ausgesetzt wird, weil ein dadurch bedingtes Schütteln um eine Kippachse das Objekt dennoch gefährden oder funktionsuntüchtig machen kann, muß auch die Neigungsänderung durch ein Erdbebenschutz-Modul kompensiert oder wenigstens weitgehend verringert werden.

- 40 **FIG.35** zeigt die Lateralansicht und einen Teilschnitt einer Erdbebenschutz-Vorrichtung am oberen Ende des Mastes **71**. Die Vorrichtung stützt den Träger **72**, der zur Aufnahme von z.B. Beleuchtungskörpern dienen kann.

**FIG.35a** stellt einen Querschnitt zur Fig.35 dar und

**FIG.35b** zeigt die Draufsicht.

Der Mast trägt am oberen Ende vier Tragarme **73**, von denen je zwei Arme einen Holm **74** tragen, an deren vier Enden jeweils ein hängendes Pendel **2** zweiachsig gelenkig befestigt ist.

Der Träger **72** wird über zwei Stützen **75** auf zwei Koppелеlementen **8** einachsig gelenkig gelagert. Die Koppелеlemente **8** hängen zweiachsig gelenkig gelagert an zwei Pendeln **2** und werden an einem dritten Punkt zweiachsig gelenkig gelagert von einem stehenden Pendel **7** gestützt, das mit seinem unteren Ende zweiachsig gelenkig auf dem oberen Ende des Mastes gelagert ist. Die Stützelemente, Pendel **2** und Pendel **7** sind räumlich geneigt so angeordnet, daß bei Neigung der Achse des oberen Mastendes von der Vertikalen weg der Träger **72** in etwa in waagerechter Position bleibt. Durch Schwingungsentkopplung des Trägers **72** mit seinen Traglasten von der von der Basis angeregten Schwingung des Mastes wirken die getragenen Massen nicht mit Reaktionskräften auf den Mast zurück und vermindern seine Belastung.

**FIG.36** stellt eine Schwingungsisolation zum Erdbebenschutz für eine Beleuchtungseinheit auf einem Pfahl **71** dar, bei dem ein virtuelles Pendel nach dem Prinzip gemäß schematischer Darstellung in **FIG.21** Verwendung findet.

Am oberen Pfahlende sind drei Haltearme **76** in diesem Beispiel in Form eines Ringes, die jeweils am oberen Scheitelpunkt an einem zweiachsig gelenkigen Lager ein Stützelement **11**, ein schräg angeordnetes Pendel tragen. Am unteren Gelenkpunkt **12** wird ein Koppелеlement **9** gestützt, das in vertikaler Draufsicht **FIG.36a** als dreistrahliger Stern erscheint. Das Koppелеlement **9** trägt an seiner Spitze in einer kardanischen Lagerung **77** einen Stützkörper **78**, an dem drei oder mehr Speichen **79** angeordnet sind, die mit einem Ring **80** verbunden sind, der mehrere Lampen **81** trägt.

Die Pendel **11** können auch wie in **FIG.36b** als Seil ausgeführt sein.

Ein elastisches Wellrohr stellt die elektrische Durchführung für die Verbindung zwischen Pfahl **71** und Lampen **81** her.

**FIG.37** zeigt ein zweites Beispiel der Anwendung eines virtuellen Pendels nach dem in **FIG.21** dargestellten Prinzip für die Schwingungsentkopplung eines Lampenträgers **82** vom schwingenden Pfahl **71**, dessen Eigenschwingung der Basisschwingung des Bodens überlagert ist.

Der Pfahl **71** trägt am oberen Ende drei Haltearme **76** an denen jeweils Pendel **11** entweder als starres Stützelement mit zweiachsig gelenkigen Lagern an beiden Enden gestaltet oder als einfache Seilstruktur ausgebildet, ein Koppелеlement **9** in Form eines Dreibeins tragen, das an einer kardanischen Lagerung **77** einen hängenden Stützkörper **78** trägt, der fest mit drei Haltearmen **82** als Lampenträger verbunden ist.



**FIG.38** Bei dieser Ausführung einer schwingungsentkoppelten Lagerung einer Lampengruppe auf einem Pfahl wird ein virtuelles Pendel benützt, das auf dem Prinzip nach FIG.23 beruht. Drei oder mehr Haltearme 76 am oberen Ende des Pfahls 71 tragen mit Seilen 83 oder alternativ mit Pendeln 2 mit beidendig kardanischen Lagern ein Koppellement 8 mit sternförmig angeordneten Tragarmen 73 entsprechend der Anzahl der Pendel.

Im Zentrum 13 des Koppellements 8 ist das vertikale Stützelement 14 kardanisch gelagert. Das untere Ende des Stützelements 14 ist im Pfahl 71 radial abgestützt zweiachsig gelenkig und axial verschiebbar gelagert.

Im oberen Ende des Stützelements 14 ist in einer kardanischen Lagerung ein Lampenträger 82 mit mehreren Tragarmen 79 zur Halterung von Lampen 81 gelagert.

**FIG.39** zeigt eine Variante mit der Anwendung des gleichen Prinzips wie im Beispiel nach FIG.38. Hierbei sind die Haltearme 76 innerhalb der Anordnung der Pendel positioniert. Die Pendel aus Seilen 83 oder Pendel mit beidendigen zweiachsig schwenkbaren Gelenken tragen einen Ring 80, der über Speichen 73 im Zentrum des Rings eine Nabe 84 trägt, in der in einer kardanischen Lagerung 77 das vertikale Stützelement 14 gehalten ist. Im übrigen entspricht die Ausführung der des Beispiels in FIG.38.

#### 4.8 Erdbebensicherung von hängenden Objekten durch virtuelle Pendel

Hängende Objekte an Gebäudedecken, wie z.B. Lampen, Schau- und Anzeigetafeln geraten bei Gebäudeschwingungen ebenfalls ins Schwingen. Hängende Objekte stellen selbst Pendel dar und haben bei üblichen Dimensionen die Möglichkeit in Resonanzschwingung zu geraten. Die Schwingausschläge werden groß, die Objekte können an der Decke anschlagen, beschädigt oder zerstört werden und mitunter abreißen. Die Gefährdung durch hängende elektrische Objekte besteht in der Gefahr, durch elektrische Kurzschlüsse, Brände auszulösen. Schwere hängende Objekte, wie große Lüster in Sälen und Hallen stellen bei Abreißen auch eine Gefährdung für Personen dar.

Bei bestehenden Gebäuden, kann es daher auch sinnvoll sein, solchen hängenden Objekten das Gefährdungspotential zu nehmen, indem man sie an virtuellen Pendeln aufhängt.

**FIG.40** zeigt die Aufhängung einer Beleuchtungseinheit an einem virtuellen Pendel nach dem Prinzip gemäß FIG.21.

An drei an der Raumdecke an Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks befestigten Seilen 83 (Kabeln), die schräg dem gemeinsamen Zentrum nach unten sich nähernd geneigt angeordnet sind, wird ein Rohrgestell in Form einer dreiseitigen Pyramide 85 getragen. In der Spitze der Pyramide ist zweiachsig gelenkig, in einfachster Form mittels zweier ineinander verketteten Ringe eine Stange 86 als Träger von Lampen aufgehängt.

**FIG.41** zeigt eine Lampe, an einem virtuellen Pendel großer Länge hängend, vergleichbar mit dem Beispiel nach FIG.40. Hierbei besteht das Koppellement 9 aus drei Haltearmen 76, die die Kanten einer dreiseitigen Pyramide bilden.

**FIG.42** Die Leuchten 87 sind in Reihe an jeweils zwei virtuellen Pendeln nach dem Schema gemäß FIG.11 aufgehängt. Das stabile Stützelement 2 ist ein an der Decke aufgehängtes Pendel in Form eines zweiachsig gelenkig befestigten Stabes, Seils oder Kette und stützt ein Ende des Koppellements 8. Eine Tragstruktur 5 aus vier Gliedern in Form von Stäben, Seilen oder Ketten, die an der Decke befestigt, wie die Kanten einer umgedreht hängenden Pyramide angeordnet sind, bilden den Stützpunkt 88 für den unteren zweiachsig gelenkigen Lagerpunkt des instabilen Stützelements 7, das am oberen Ende zweiachsig gelenkig mit dem anderen Ende des Koppellements 8 verbunden ist. Am Koppellement 8 hängt einachsig gelenkig gelagert die Laststütze 89, an der vertikal federnd die Leuchte 87 aufgehängt ist.

#### 4.9 Schwingungstilgung durch Massen an virtuellen Pendeln

Hochhäuser, schlanke Türme, hohe Masten und Kamine werden durch Erdbeben und starken Wind zu Querschwingungen angeregt, die kritische Auswirkungen haben können. Um die mit der Verformung einhergehenden Ausschlagspannungen zu mindern und Materialermüdung vorzubeugen, werden sehr wirkungsvoll Schwingungstilger benutzt, die die Schwingweite zu verringern. Hierbei werden Zusatzmassen am Kopf des Bauwerks oder bei schlanken Kaminen und abgespannten Masten an Stellen, wo die größten Schwingamplituden auftreten, eigenschwingfähig angeordnet und mit dem Gebäude über federnde Stützglieder und Dämpfer verbunden oder durch aktive Systeme bewegt, um über die Antriebsreaktionskräfte der Zusatzmasse der Schwingungstilger der Eigenbewegung des Gebäudes entgegenzuwirken.

Für die Stützung dieser Zusatzmassen lassen sich virtuelle Pendel vorteilhaft einsetzen. Bei geringstem Raumbedarf lassen sich virtuelle Pendel in einfacher Weise für jede gewünschte Eigenfrequenz der gestützten Tilger-Masse durch freie Wahl der Auslegungsparameter-Relationen gestalten.

Bei aktiv angetriebenen Schwingungstilgern ist bei Verwendung virtueller Pendel die sehr geringe Reibung der Masse-Aufhängung und die beliebig gestaltbare Eigenschwing-Periode von Vorteil.

**FIG.43** stellt einen passiven Schwingungstilger in einem Turm dar. Drei virtuelle Pendel  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.11 stützen die Tilger-Masse 90. Federnde Dämpfer 91 stützen die Masse horizontal gegen die Gebäudemasse ab.

**FIG.44** Das dargestellte aktive Schwingungstilger-System besteht aus der Tilger-Masse 90, die von drei virtuellen Pendeln  $P_v$  nach dem Prinzip entsprechend FIG.11 gestützt wird. Die Referenz-Masse 92 ist auf drei virtuellen Pendeln gestützt nach dem Prinzip entsprechend FIG.9, die sehr reibungsarm und mit geringer Mittellage-Hysterese und sehr langer Eigenschwing-Periode ausgelegt sind.

Sensoren 93 für die Lageerfassung der weitgehend in beiden Horizontalachsen von der Bewegung der Gebäudestruktur abgekoppelten Referenz-Masse 92 in Bezug auf die Gebäudelage liefert über eine Regelung die Stellgröße für die Bewegung der Tilger-Masse 90 über Aktuatoren 94.

Innerhalb des Gebäudes stellen flexible Leitungsverbindungen in hängenden U-Schleifen 112 sicher, daß bei Relativbewegung zwischen schwingender Basis und schwingungs isoliert gestützter Gebäudestruktur 51 keine Leitungsschäden entstehen.

#### 4.13 Tolerierung von Bodenspaltbildung unter Gebäuden

- 5 Sogar im ungewöhnlichsten Fall, daß entlang einer Spalte direkt unter einem Gebäude beide Ränder sich in entgegengesetzter Richtung bewegen oder voneinander entfernen und eine offene Spalte hinterlassen, kann das System dies tolerieren, weil die Module unabhängig voneinander funktionieren und Veränderungen der Stützweite auf der Basis ausgleichen.

- 10 Das System stellt dennoch Stabilität der getragenen Struktur bereit.

**FIG.54** Der Teilungsabstand  $t$  der Gebäudestützen an der getragenen Gebäudestruktur 51 ist durch feste Montage unveränderlich. Der Teilungsabstand der Erdbebenschutz-Module 56 auf dem Fundament 20 entspricht dem Teilungsabstand am Gebäudeoberteil.

- 15 Kommt es durch Erdbeben-Kompressionswellen zu einer Spaltbildung zwischen den Erdbebenschutz-Modulen 56, so vergrößert sich die Stützweite der Erdbebenschutz-Module 56 um die Spaltbreite  $Sp$ . Die Erdbebenschutz-Module zentrieren als virtuelle Pendel wirkend den Laststützpunkt im Zentrum seiner Schwingweite unterhalb seines virtuellen Aufhängungspunkts.

- 20 Werden die Abstände der virtuellen Aufhängepunkte von zwei virtuellen Pendeln vergrößert, so nehmen die miteinander fest verbundenen Laststützpunkte eine ausgleichende Stellung ein, so daß die Abweichung vom ursprünglichen Mittellage-Punkt bei beiden virtuellen Pendeln gleich ist.

#### 4.14 Impact-Minderung bei Explosionen

- 25 Aufgrund des geringen Verschiebewiderstandes des getragenen Objekts gegenüber der Basis kann erfindungsgemäß das Gebäude oder Objekt bei Luftkräften, welche die Staudrücke stärkster Winde übersteigen, wie sie durch Explosionen in der Nähe eines Gebäudes hervorgerufen werden können, in jeder Richtung ausweichen und somit die Wirkung der Luftkraft-Momente verringern.

- 30 Die Windkraftabstützung stellt sich automatisch auf die Windkraft ein mit einer Regelstellgrößen-Änderungsgeschwindigkeit, die den Erfordernissen der Windkraft-änderungsrate entspricht.

- 35 Ein Luftdruckanstieg aufgrund einer Explosion erfolgt in einer extrem kurzen Zeit, innerhalb der kein nennenswerter Anstieg der Abstützkraft für die Windkraftkompensation durch die selbsttätige Regelung erfolgt. Somit kann das Gebäude bei plötzlicher Beaufschlagung mit einer Druckwelle bei geringer Gegenkraft zurückweichen, was den Impulsaustausch nicht unbeträchtlich verringert.

## 6 Beschreibung von zweckmäßigen Ausführungen

**FIG.1** zeigt, daß erfindungsgemäß ein Baukörper oder zu schützendes Objekt auf Tragkonstruktionen, die hier Erdbebenschutz-Module **56** genannt werden, gelagert ist, die mit dem Boden über ein durchgehendes gemeinsames Fundament oder auch über jeweils  
5 einzelne Fundamentgründungen für das einzelne Erdbebenschutz-Modul fest mit dem Boden verbunden sind. Die Erdbebenschutz-Module tragen den Baukörper und ermöglichen ihm an den Stützpunkten auf den Erdbebenschutz-Modulen ein räumliches Bewegungsverhalten in einer Weise, die etwa einer solchen Bewegungsform gleicht, als wäre das Objekt an sehr langen Pendeln aufgehängt, wodurch das Objekt nur minimale Beschleunigungen erfährt. Bei  
10 seiner geringen Bauhöhe stellt ein solches Erdbebenschutz-Modul ein virtuelles Pendel  $P_v$  großer virtueller Länge  $l_v$  mit langer Periodendauer dar. Diese Tragkonstruktionen oder Erdbebenschutz-Module sind so auslegbar, daß sie für jede gewünschte, oder erforderliche Amplitude einer möglichen Bewegung ausgeführt werden können, so daß extremste horizontale Bodenbewegungen sich nicht auf das getragene Objekt übertragen. Durch  
15 entsprechende Auslegung und Dimensionierung kann erreicht werden, daß die Eigenschwingfrequenz des auf den Erdbebenschutz-Modulen gelagerten Gebäudes um ein Vielfaches geringer ist, als die Schwingfrequenzen des Bodens, wie sie üblicherweise bei Erdbeben auftreten.

**FIG.55** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** in einer Ausführung nach dem Schema gemäß **FIG.21** mit Einbau in das Untergeschoß eines Hauses. Drei Stützelemente **11** haben  
20 an ihren Enden jeweils ein sphärisches Gelenklager **15** oder alternativ Kardangeln oder Kugelgelenk **17** und sind an ihrem oberen Ende an einer Tragstruktur **5** zweiachsig gelenkig aufgehängt und tragen am unteren Ende das Koppellement **9**. Am oberen Ende des Koppellements **9** ist die mit der getragenen Gebäudestruktur **51** verbundene  
25 Gebäudestütze **16** mit einem Kugelgelenk **17** gelenkig gelagert. Ein Faltenbalg **18** aus Elastomer-Werkstoff oder Metall dichtet das Kugelkopflager hermetisch ab. Eine gleitende Dichtung **19** dichtet den Spalt zwischen getragenerm Baukörper, der sich gegenüber der Basis bewegen kann, zum Gebäudeteil der Basis **6** ab.

**FIG.56** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** nach dem Schema gemäß **FIG.12** mit Einbau  
30 in das Untergeschoß eines Hauses. Die vertikale Schwingungsisolierung nach dem Schema entsprechend **FIG.32** ist in die Gebäudestütze **16** integriert. Zur Anpassung an die Relativbewegung zwischen Basis und schwingungsisoliertem Gebäudeoberteil ist die Gebäude-Spaltabdichtung **114** nach dem Schema entsprechend **FIG.52** ausgeführt.

**FIG.57** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** in der ähnlichen Ausführung wie **FIG.55**.  
35 Zusätzlich ist eine Zentrier- und Windkraftabstütz-Vorrichtung **57** integriert in der Bauweise gemäß **FIG.25**. Diese Lösung hat den Vorteil platzsparend zu sein. Beide Funktionen, das Objekt zu tragen und es genau zu zentrieren und der Windkraft eine Gegenkraft entgegenzustellen, werden in einer Einheit vereinigt.

**FIG.58** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul **56** mit einer weiteren Kombination der Trag- und  
40 Zentrier-Funktion. Die Zentrierung übernimmt hier ein Elastomer-Federblock **48**.

**FIG.59** zeigt ein Erdbebenschutz-Modul in einer Ausführung nach dem Schema gemäß **FIG.12** in einer Schwerlastausführung für hohe Gebäude mit ebenerdiger Montage. Das hängende Pendel **2** hat an beiden Enden jeweils ein sphärisches Gelenklager oder ein Kardangelenk und ist an seinem oberen Ende aufgehängt an der Tragstruktur **5**. Am unteren Lager des Pendels **2** ist der Träger **8** als Koppелеlement gelagert. Das andere Ende des Koppелеlements **8** stützt sich über ein Kugelgelenk **17** oder alternativ möglich auch über ein Kardangelenk oder sphärisches Gelenklager auf dem stehenden labilen Pendel **7** ab. Das stehende Pendel **7** stützt sich über ein gleiches Kugelgelenk **17** wie am oberen Ende ebenso am unteren Ende auf der Basis in diesem Fall dem Fundament **20** ab. An dem Träger **8** ist die Gebäudestütze **16** einachsrig gelenkig gelagert abgestützt und trägt das Gebäude **1**. Das Erdgeschoß des Gebäudes **1** hängt zusammen mit dem Untergeschoß **22** oder mehreren Untergeschossen an dem Gebäude **1**. Der Zwischenraum **23** zwischen den Untergeschossen **22** und dem Fundament **20** an der Basis wird durch den Außenbereich des Erdgeschosses abgedeckt und der Bewegungsspalt zum Fundament mit einer Gleitdichtung **19** abgedichtet. Die Verbindungen zur Versorgung und Entsorgung **21** des Gebäudes mit Wasser und Energie und zur Kommunikation sind zwischen der Fundamentbasis **20** und den Untergeschossen **22** des Gebäudes in einer U-Schleife hängend flexibel ausgeführt, so daß Relativbewegungen zwischen Basis und Gebäude möglich sind, ohne daß die Verbindungen gefährdet werden können.

**FIG.60** zeigt einen vertikalen Teilschnitt eines Hochhauses mit der Abstützung durch Erdbebenschutz-Module **56** der Außenkante des Gebäudes entlang aufgereiht in der Bauweise gemäß **FIG.59**. In einer Ebene **54** eines Untergeschosses **22** sind am Umfang des Gebäudes Horizontalabstützungen **24** angebracht nach dem Prinzip entsprechend **FIG.29** oder **FIG.30** mit den entsprechenden hydraulischen Ausrüstungen gemäß **FIG.28**.

**FIG.61** zeigt einen Horizontalschnitt durch ein Gebäude-Untergeschoß **22** und ein rahnenförmig um das Untergeschoß ausgebildetes Fundament **20** als Tragbasis für die Erdbebenschutz-Module in einer Ebene **54** in **FIG.60**. An jeder Seite des Untergeschosses **20**, das relativ zur Basis und damit verbundenen Fundament **20** in allen Richtungen beweglich oder verschiebbar ist, befinden sich an jeder Wand je zwei Vorrichtungen zur Horizontalabstützung **24** gegen Windkräfte und zur genauen Mittelzentrierung des Gebäudes relativ zum Fundament. Die Abstütz-Vorrichtungen entsprechen dem Schema nach **FIG.30**. Baut sich am oberen Gebäudeteil eine Windkraft auf, so verbleibt das Gebäude in der gleichen Lage wie in **FIG.61** dargestellt. Die Abstützeinrichtungen reagieren auf geringste Einfederung und erhöhen die Abstützkraft in den Federelementen solange, bis Gleichgewicht mit der Windkraft vorhanden ist. Bei genauer Mittellage ohne äußere Kräfte durch Wind ist zwischen den Laufrollen und der Fundamentwand ein geringfügiges Spiel vorgesehen. Alle Feder-Zylinder sind voll ausgefahren bis zu ihrem hydraulisch gedämpften Anschlag.

**FIG.62** Erfolgt eine Verschiebung der Basis in Richtung der dargestellten Pfeile **58** durch ein Erdbeben, so federn die Horizontalabstützungen **24** an der Seite ein, wo sich die Fundamentwand **20** dem Gebäude nähert. Auf der gegenüberliegenden Seite des Gebäudes heben die Abstützungseinrichtungen **24** von der Wand ab.

**FIG.63** Bei Bewegung der Basis in einer nicht einer Gebäudekante parallelen oder dazu senkrechten Richtung **58**, federn die Abstützelemente an zwei Seiten ein und an den gegenüberliegenden Seiten heben sie von der Wand ab.

**FIG.64** zeigt einen Ausschnitt einer Außenansicht eines Hochhauses mit Stützung zu ebener Erde im Sichtbereich auf Erdbebenschutz-Modulen **56** mit Anwendung des Prinzips virtueller Pendel. Die virtuellen Pendel nach dem Schema entsprechend **FIG.12** sind paarweise gespiegelt angeordnet. Die hängenden stabilen Pendel **2** werden paarweise zum Toleranzausgleich über einen in seiner Mitte einachsrig gelenkig gelagerten Ausgleichsträger **115** auf einer Säule **116** gestützt.

Die Anordnung der Erdbebenschutz-Module läßt erkennen, daß diese Ausführung zur Nachrüstung bestehender Gebäude in Skelettbauweise geeignet ist. Die bestehenden Säulen werden in dem Bereich der Lücke **G** ersetzt durch Einfügen der Elemente des virtuellen Pendels.

**FIG.64a** und **FIG.64b** stellen einen vertikalen Querschnitt zur Ansicht **FIG.64** dar und zeigen den Außenabschluß des Gebäudes zu ebener Erde mit der Bewegungstrennfuge und der Gebäude-Spaltabdichtung **114**, wobei einmal die Erdbebenschutz-Module im Außenbereich des Gebäudes und einmal im Inneren des Gebäudeabschlusses sich befinden.

**FIG.65** zeigt ein virtuelles Pendel als Erdbebenschutz-Modul nach dem Prinzip entsprechend **FIG.21**. In einem in eine Basis **6** einbetonierten Gehäuse **117** wird das vormontierte Modul als Einheit eingesetzt und über Flanschbefestigungen verbunden. Die Laststütze **89** wird mit dem getragenen Objekt durch Flanschverbindung verbunden. Die stabilen Stützelemente, Pendel **11** sind als Seil ausgeführt. Das Stützelement **14** wird zur Abstützung von Windkräften über die Feder **118** zentriert und zur Aufnahme von vertikaler Negativbeschleunigung durch die Feder **119** niedergehalten. Die Laststütze **89** ist im Stützelement **14** mit einem Kugelgelenk **17** zweiachsrig gelenkig gestützt und trägt über eine teleskopische Führung **120** und federnde Abstützung über mechanische Federung **126** oder alternativ pneumatische Federn die Objekt-Last.

**FIG.66** zeigt eine Anordnung, einen auf Pylonen gestützten hochgelegten Fahrdamm **122** gegenüber der Pylon-Plattform **121** von Querschwingungen zu isolieren; auf diese Weise wird der Pylon in seiner Knick-Biegebelastung des Schaftes entlastet, weil er nicht mehr aus Masse-Reaktionskräften aus Querbeschleunigungen des Fahrdamms, sondern im wesentlichen nur durch seine eigene Masse und einem geringeren Anteil der Erdbebenschutz-Modulmasse belastet wird. Die Ausführung der virtuellen Pendel entspricht dem Prinzip entsprechend **FIG.13**. Sofern dieser Fahrdamm-Stützpunkt ein Festlager ist, wird das Koppелеlement mit horizontal wirkenden Federelementen **126** in seiner Mittelstellung gehalten. Erst, wenn die vorgegebene Federkraft überwunden wird, wird freie Relativbewegung zwischen Fahrdamm **122** und Pylonplattform **121** möglich.

**FIG.67** stellt die Schwingungs isolation eines Pylons **125** für hochgestellte Fahrdämme an der Basis dar. Das virtuelle Pendel basiert auf dem Prinzip entsprechend **FIG.9**. In der dargestellten Form stellt diese Fahrdamm-Stütze gleichzeitig ein Brückenloslager dar. Das stabile, hängende Pendel, Stützelement **2** wird aus zwei Zugstangen **123** und zwei Querträgern **124** gebildet.

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

**Anlage 1**

zur Stellungnahme zum Prüfungs-Bescheid

PCT/EP98/05158

Seite 1 von 1

Änderung der Ansprüche 1. und 2. Zur Verbesserung der Klarheit, Abgrenzung und Verständlichkeit und unter Berücksichtigung der im Bescheid gemachten Vorschläge unter Punkt VIII Paragraph 2

**Patentansprüche**

1. **Verfahren zum Schutz von Objekten, insbesondere Gebäuden vor dynamischen Kräften aus Beschleunigungen einer Basis (6)** z. B. bei Erdbeben, wobei in einem das Objekt (1) tragenden System die Wirkung von stabilen, in jeder horizontalen Richtung pendelnd schwingfähigen, die Objektmasse anhebenden Stützelementen (2, 11) und von labilen, in jeder horizontalen Richtung pendelnd schwingfähigen, die Objektmasse absenkenden Stützelementen (7, 11, 14) in der Weise durch Koppelung überlagert wird, daß bei wechselnder horizontaler Bewegung der Basis (6) z. B. bei Erdbeben unter dem Einfluß einer Deplacierung der mit der Basis (6) verbundenen Stützpunkte (10) der Stützelemente (2, 7, 11) gegenüber der Lage der trägen Masse des Objekts (1) eine nur geringe Anhebung der Objektmasse (1) auf den Stützpunkten (P) auf den Koppelgliedern oder kombinierten Stütz- und Koppelgliedern erfolgt, wodurch aufgrund einer geringen Neigung der relativ zur Basis räumlichen Bewegungsbahn der Stützpunkte (P) eine nur geringe in die Richtung der Ruhelage stabilisierende Rückstellkraft ( $F_R$ ) durch die der Gravitation ausgesetzte Objekt-Masse entsteht, woraus bei Auftreten von hohen Querbeschleunigungen an der Basis dennoch eine nur geringe Objektbeschleunigung mit langer Periodendauer der Eigenschwingung resultiert.  
(FIG.9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 23, 24)
2. **Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur schwingungsentkoppelten Lagerung eines Objekts (1), insbesondere eines Gebäudes an seinen statischen Stützpunkten gegenüber einer schwingenden Basis (6) zum Schutz des Objekts (1) gegen Schwingungen der Basis (6) die Abstützungen des Objekts (1) auf jeweils einer Vorrichtung an einem bestimmten Lagerpunkt (P) auf einem Koppellement oder kombinierten Stütz- und Koppellement (8, 9, 14) erfolgt, das seinerseits über nach allen Richtungen pendelnd gelagerte Stützelemente (2, 7, 11), die es miteinander koppelt, an der schwingenden Basis (6) abgestützt ist, und daß die Dimensionierung und Anordnung der Stützelemente (2, 7, 11, 14) in ihrer Ausgangslage so getroffen ist, daß auf jedem Koppellement oder kombinierten Stütz- und Koppellement (8, 9, 14) an der Stelle für den Lagerpunkt (P) des zu stützenden Objekts (1) eine vergleichbare Bewegungsmöglichkeit in jeder horizontalen Richtung zustandekommt, wie sie das freie Ende eines sehr langen in jeder Richtung zweiachsig schwingfähigen Pendels in Form einer konkaven Kugelschale beschreibt, wodurch die Wirkung von in jeder Richtung schwingenden virtuellen Pendeln entsteht.  
(FIG.9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 23, 24)**

FBIE-PEQP/03

F. Blarwirth Erdbebensicherung

B1074-PCJ

47/51

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Schutz von Gebäuden und Objekten vor dynamischen Kräften aus Beschleunigungen einer Basis (6) z.B. bei Erdbeben, dadurch gekennzeichnet, daß in einem das Objekt (1) tragenden System die Wirkung von stabilen, die Objektmasse anhebenden und von labilen, die Objektmasse absenkenden Stützelementen (2, 7, 11, 14) in der Weise durch Koppelung überlagert wird, daß bei wechselnder horizontaler Bewegung der Basis (6) durch Erdbeben unter dem Einfluß einer Deplacierung der mit der Basis (6) verbundenen Stützpunkte (10) der Stützelemente (2, 7, 11, 14) gegenüber der Lage der trägen Masse des Objekts (1) eine nur geringe Anhebung der Objektmasse (1) auf dem Stützpunkt (P) erfolgt, wodurch eine nur geringe in die Richtung der Ruhelage stabilisierende Rückstellkraft, erzeugt wird, woraus eine nur geringe Objektbeschleunigung mit langer Periodendauer der Eigenschwingung resultiert. (FIG.9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 23, 24)
2. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur schwingungsentkoppelten Lagerung eines Objekts (1) an mindestens drei Lagerpunkten (P) gegenüber einer schwingenden Basis (6) zum Schutz des Objekts (1) gegen Schwingungen der Basis (6) die Abstützung des Objekts (1) auf einem Koppelement (8, 9, 14) erfolgt, das seinerseits über nach allen Richtungen pendelnd gelagerte Stützelemente (2, 7, 11, 14), die es miteinander koppelt, an der schwingenden Basis (6) abgestützt ist, und daß die Dimensionierung und Anordnung der Stützelemente (2, 7, 11, 14) in ihrer Ausgangslage so getroffen ist, daß das Koppelement (8, 9, 14) mit den an ihm angelenkten Stützelementen (2, 7, 11, 14) ein virtuelles Pendel darstellt, das für einen Lagerpunkt (P) des Objekts (1) auf dem Koppelement (8, 9, 14) eine vergleichbare Bewegungsform ergibt, wie sie das freie Ende eines sehr langen Pendels beschreibt. (FIG.9, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 23, 24)
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppelement (8, 9) an einer Anlenkseite der Stützelemente (2, 7, 11) eine Anhebung und an einer gegenüberliegenden Seite eine Absenkung erfährt, und daß der Lagerpunkt (P) zur Abstützung des Objekts (1) auf dem Koppelement (8, 9, 14) bei einer zugrundegelegten Horizontalamplitude der schwingenden Basis (6) eine nur geringe Anhebung erfährt und eine derartige Bewegung ausführt, daß er eine flach gekrümmte, nach oben offene konkave Ortsfläche beschreibt. (FIG.9, 12, 13, 16, 17, 21)
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Stützelemente (2, 7) durch ein Koppelement (8, 8b) jeweils zweiaxsig gelenkig verbunden sind, wobei ein Stützelement (2) als ein am oberen Ende zweiaxsig gelenkig pendelnd an einem mit der Basis (6) verbundenen Stützpunkt (10) aufgehängtes stabiles Pendel und das andere Stützelement (7) als ein am unteren Ende auf der Basis (6) zweiaxsig gelenkig gelagertes stehendes labiles Pendel ausgebildet ist, und daß das Koppelement (8, 8b) an dem Objekt (1) in einer waagerechten Achse gelagert ist, so daß es relativ zu dem Objekt (1) keine Drehung um die Hochachse ausführen kann. (FIG.9, 12, 13, 16, 17)



5. **Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppellement (8) in ein weiteres Koppellement (8b) gegliedert und über das Koppellement (8a) beidseitig einachsig gelenkig damit verbunden ist, und daß das Stützelement (8b), welches einachsig gelenkig an der Laststütze ( $W_1$ ) gelagert ist, sich auf dem labilen Pendel, Stützelement (7) zweiachsig gelenkig stützt. (FIG.13 bis 17)**

6. **Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß drei Stützelemente (11) an einem Koppellement (9, 14) an drei Punkten am Umfang zweiachsig gelenkig angelenkt, in der Ruhelage von dem Zentrum des Koppellements (9) weg nach oben schräg nach außen geneigt angeordnet und zweiachsig gelenkig an der Basis (6) aufgehängt sind. (FIG.18, 19)**

7. **Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Lagerpunkt (P) zur Abstützung des Objekts (1) oberhalb einer durch die drei Lagerpunkte (12) der Stützelemente (11) an dem Koppellement (9) gebildeten Ebene angeordnet ist. (FIG.19, 20, 21)**

8. **Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppellement (8), das mit mindestens zwei Stützelementen (2) zweiachsig gelenkig verbunden ist, die jedes an ihrem oberen Ende zweiachsig gelenkig pendelnd an einem mit der Basis (6) verbundenen Stützpunkt (10) in paralleler Anordnung aufgehängt sind, in seiner Mitte ein Stützelement (14) trägt, das im Koppellement (8) einachsig gelenkig gelagert ist, wobei die Schwenkbewegung des Stützelements (14) in die Richtung der Stützpunkte des Koppellements (8) an den Stützelementen (2) zeigt, und das an seinem unteren Ende unterhalb seiner Lagerung auf dem Koppellement (8) zweiachsig gelenkig und axial verschiebbar gelagert ist, und das oberhalb seiner Lagerung auf dem Koppellement (8) an einem zweiachsig gelenkigen Lagerpunkt (P) das Objekt trägt. (FIG.22, 23, 24)**

9. **Vorrichtung nach Anspruch 2 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Vorrichtung abweichend von der Ausführung nach Anspruch 8 das Koppellement (8) an mehreren symmetrisch angeordneten Stützelementen (2) in paralleler Lage gestützt ist, und daß das Stützelement (14) auf dem Koppellement (8) zweiachsig gelenkig gelagert ist. (FIG.22, 23, 24)**

10. **Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme von Windkräften unter dem getragenen Objekt (1) zwischen der Basis (6) und dem Objekt (1) ein Querkräfte aufnehmender Stab angeordnet ist, bei dem ein Ende des Stabes (42) mit dem Ende einer an der Basis (6) oder an dem getragenen Objekt (1) nicht gelenkig befestigten vorgespannten Zugfeder (41) nicht gelenkig fest verbunden ist und dessen anderes Ende sich mit einem Zapfen (42) in einem an dem gegenüber sich befindlichen Objekt (1) beziehungsweise an der Basis (6) befestigten in einem zweiachsig schwenkbaren Lager (43) axial verschiebbar abstützt, wodurch die Lage von Objekt (1) und Basis (6) relativ zueinander fixiert wird und eine relative Verschiebbarkeit zwischen Basis (6) und Objekt (1) erst entsteht, wenn eine an dem Zapfen (42) wirkende Querkraft eine durch die Vorspannung der Zugfeder (41) vorbestimmte Größe übersteigt. (FIG. 25)**

GEÄNDERTES BLATT  
IPE/EP

11. **Vorrichtung** nach einem der **Ansprüche 2 bis 9**, dadurch gekennzeichnet, daß unter dem getragenen Objekt (1) zwischen der Basis (6) und Objekt (1) ein Querkräfte aufnehmender Stab angeordnet ist, bei dem ein Ende des Stabes mit einem an der Basis (6) oder an dem getragenen Objekt (1) fest verbundenen Federblock (48) aus elastomerem Werkstoff fest verbunden ist und dessen anderes Ende sich mit einem Zapfen (42) in einem an dem gegenüber sich befindlichen Objekt (1) beziehungsweise an der Basis (6) befestigten in einem zweiachsig schwenkbaren Lager axial verschiebbar abstützt, wodurch die Lage von Objekt (1) und Basis (6) relativ zueinander elastisch fixiert wird. (FIG.26)

12. **Vorrichtung** nach einem der **Ansprüche 2 bis 9**, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme von Windkräften unter dem getragenen Objekt (1) eine oder mehrere Haltevorrichtungen (50) befestigt sind, womit jeweils eine in allen Richtungen drehbar gelagerte in einer vertikalen Achse geführte Zentrierkugel (44) mit einer vorbestimmten Kraft einer mechanischen oder hydropneumatischen Feder (47) nach unten in das Zentrum eines mit der Basis (6) fest verbundenen Zentriertrichters (45) gedrückt wird, der einen von einem Anfangswert in seinem Zentrum nach außen bis auf 180° zunehmenden Öffnungswinkel aufweist, wodurch eine formschlüssige Verbindung zwischen Objekt (1) und Basis (6) zustande kommt, die in der Lage ist, bis zu einem von der Federkraft und dem Öffnungswinkel im Zentrum des Trichters abhängigen Grenzwert horizontale Kräfte zu übertragen, bei dessen Überschreitung die Zentrierkugel (44) vertikal gegen die Federkraft durch die Schräge des Trichters angehoben wird und in den Bereich des flacher werdenden Trichters rollt, wobei die horizontal übertragbare Kraft kleiner wird und außerhalb des Trichters Null wird, so daß während Relativbewegungen zwischen Objekt (1) und Basis (6) bei Schwingungen der Basis (6) durch Erdbeben nur geringe oder abhängig von der Schwingweite der Basis (6) nahezu keine horizontalen Kräfte von der Basis auf das Objekt übertragen werden. (FIG.27)

13. **Vorrichtung** nach **Anspruch 12** zur Zentrierung eines durch die Eigenschaft seiner Lagerung leicht horizontal verschiebbaren Objekts oder Gebäudes und Bereitstellung einer Haltekraft, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine vertikal geführte und in einem Rollkugelbett (49) gelagerte Zentrierkugel (44) mit einer mechanischen oder hydropneumatischen oder viskoelastischen Federkraft in einen Zentriertrichter (45) gedrückt wird, so daß eine an der Gebäudestruktur (51) horizontal wirkende Windkraft keine Reaktionskraft im Berührungspunkt der Zentrierkugel (44) im Zentriertrichter (45) hervorrufen kann, deren Vertikalkomponente ( $F_v$ ) die Zentrierkugel (44) in der vertikalen Führung gegen die Federkraft zurückdrücken kann. (FIG.27)

14. **Vorrichtung** nach **Anspruch 12**, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Zentriertrichter (45) außerhalb des Kreises, den die Berührungslinie von Zentrierkugel (44) im Kontakt in der tiefsten Lage mit dem Zentriertrichter (45) bildet, einen bis auf 180° größer werdenden Öffnungswinkel ( $\gamma$ ) aufweist, so daß die horizontale Komponente ( $F_H$ ) aus der Normalkraft im Berührungspunkt von Zentrierkugel (44) und Zentriertrichter (45) vom Zentrum des Zentriertrichters (45) radial nach außen abnimmt, wenn eine horizontale Verschiebekraft, die größer als die maximale horizontale Windkraft ist, die Zentrierkugel (44) in ihre vertikale Führung einfedern läßt und der Berührungspunkt zwischen Zentrierkugel (44) und Zentriertrichter (45) radial nach außen im Zentriertrichter (45) wandert. (FIG.27)

15. **Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Zentrierkugel (44) in einer vertikalen Führung ungebremst gegen eine vertikal wirkende Federkraft einfedern kann, wenn aus einer waagerechten Verschiebung des Zentriertrichters (45) hervorgerufene Vertikalkraft ( $F_v$ ) die Federkraft übersteigt, und daß ein Zurückfedern der vertikalen Führung mit der Zentrierkugel (44) durch hydraulische Drosselung auf eine geringe Geschwindigkeit gebremst wird, so daß die Zeit für den vollen Rückfederhub ein Vielfaches einer maximalen Erdbeben-Schwingungsperiode beträgt. (FIG.27)**

16. **Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Aufnahme von Windkräften zwischen senkrechten Seitenwänden der Basis (6) und auf gleicher Höhe liegenden Punkten des getragenen Objekts (1) rings um das in eine Mulde in der Basis (6) hineinragende Objekt (1) herum verteilt mindestens drei Paare, je ein Paar für die Bewegungs-Achsen, eines für die vertikale und zwei für die horizontalen, jeweils zum Objekt (1) paarweise spiegelbildlich angeordnet, mit mechanischer oder hydropneumatischer Feder (47) mit flacher Federkennung und in Richtung auf die Seitenwand des Fundaments bis zu einem vorbestimmten Anschlag an geeigneten Führungen ausfahrbaren Gleitschuhen oder Rollen (25) oder Mehrrollen-Laufwerken mit horizontaler Laufrichtung rings um das Objekt (1) angeordnet sind. (FIG.28, 29, 30)**

17. **Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Sicherstellung ringsum gleichmäßig horizontaler Abstände zur Seitenwand (20) der Basis bei geringster Einfederung durch Verschieben des Objekts relativ zur Basis durch Windkraft selbsttätig, durch hydraulische Tastventile geregelt, die Federkraft erhöht, bis volle Ausfederung in Sollstellung zentriert erreicht ist, und bei Verlagerung der Basis während Einfederns bei Erdbebenschwingungen aufgrund der flachen Federkennung die Abstützkraft gegen vorhandene Windkraft nur gering erhöht wird, so daß nur eine geringe Differenzkraft als Beschleunigungskraft mit Wirkung auf die Objektmasse wirksam wird. (FIG.28, 29, 30)**

18. **Vorrichtung nach Anspruch 16 und 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung zwischen dem mit der Basis (6) schwingenden Fundament und der durch virtuelle Pendel schwingungs isolierten Gebäudestruktur dazu benutzt wird, eine oder mehrere Pumpen (37) für die Servoenergiegewinnung anzutreiben, die für sich einzeln oder in Kombination mit Zentrier- und Windkraft-Abstützelementen, die mit der Relativbewegung in Verbindung stehen, angeordnet sein können. (FIG.28, 30)**

19. **Vorrichtung nach Anspruch 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein separat vom Hauptgebäude (51) durch virtuelle Pendel (56<sub>u</sub>) schwingungs isoliert gestützter Gebäudeteil (22) außerhalb von Windbeaufschlagung als Lagereferenz für eine Lageregelung des Hauptgebäudes unter Windbelastung dient. (FIG.31)**

20. **Vorrichtung nach den Ansprüchen 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Laststütze zwischen dem Lagerpunkt (P) des virtuellen Pendels und dem gestützten Objekt (51) als vertikales Federbein mit einer Federung mit sehr flacher Kennung und darauf abgestimmter Dämpfung gestaltet ist, wobei die Federelemente mechanischer, hydraulisch-pneumatischer, oder fluidelastischer Art sein können. (FIG.32)**

GEÄNDERTES BLATT  
IPE/VEP

21. **Vorrichtung nach Anspruch 4, 6, 10 und 20, dadurch gekennzeichnet, daß Vorrichtungen für die Windkraftabstützung (70) und Vertikalfederung (69) mit dem virtuellen Pendel (56) in einer Einheit zusammengefaßt sind. (FIG.33, 56)**

5 22. **Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppelement (8) von virtuellen Pendeln auf Pfählen von zwei hängenden Pendeln, Stützelementen (2) und einem stehenden Pendel, Stützelement (7) gehalten wird, und daß die Stützelemente (2) und (7) räumlich schräg angeordnet sind, um die Schrägstellung des Mastendes beim Schwingausschlag auszugleichen, damit die Lagerung des Objekts nicht im gleichen Maße die Schrägstellung erfährt. (FIG.35, 35a, 35b)**

10 23. **Vorrichtung nach Anspruch 4 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Koppelemente (8, 9) seinen Laststützpunkt (P) an der Unterseite hat und hängende Objekte trägt und daß die Stützelemente (2, 11) aus Seilen bestehen. (FIG.37, 40, 42)**

24. **Vorrichtung nach Anspruch 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Stützelemente (2) aus Seilen bestehen. (FIG.38, 39)**

15 25. **Vorrichtung nach Anspruch 4 und 23, dadurch gekennzeichnet, daß das hängende Pendel, Stützelement (2) an einer Raumdecke hängt, die mit der Basis über das Gebäude verbunden ist, und daß das instabile Pendel, Stützelement (7) an seinem Fußpunkt als Basis von dem Knotenpunkt, der von vier oder drei an einer Gebäudedecke hängenden schräg aufeinander zulaufenden Stäben, Seilen oder Ketten (5) gebildet wird, gestützt wird. (FIG.42)**

20

26. **Vorrichtung nach Anspruch 4, 5, 7 und 23, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens drei virtuelle Pendel eine Masse als Schwingungstilger tragen. (FIG.43, 44, 45, 46, 47, 48)**

25 27. **Vorrichtung nach Anspruch 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 23, dadurch gekennzeichnet, daß die stabilen hängenden Pendel durch Seile oder Ketten dargestellt werden. (FIG.36b, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46, 47, 48)**

28. **Vorrichtung als Basis für Erdbebenschutz-Module nach Anspruch 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Fundament (100) für den Aufbau der virtuellen Pendel an seiner Unterseite nach den Außenkanten ansteigend gewölbt ausgeführt ist. (FIG.49, 56)**

30 29. **Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Koppelement (8) unmittelbar Lagerung für ein Objekt darstellt. (FIG.69)**

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

3 / 70

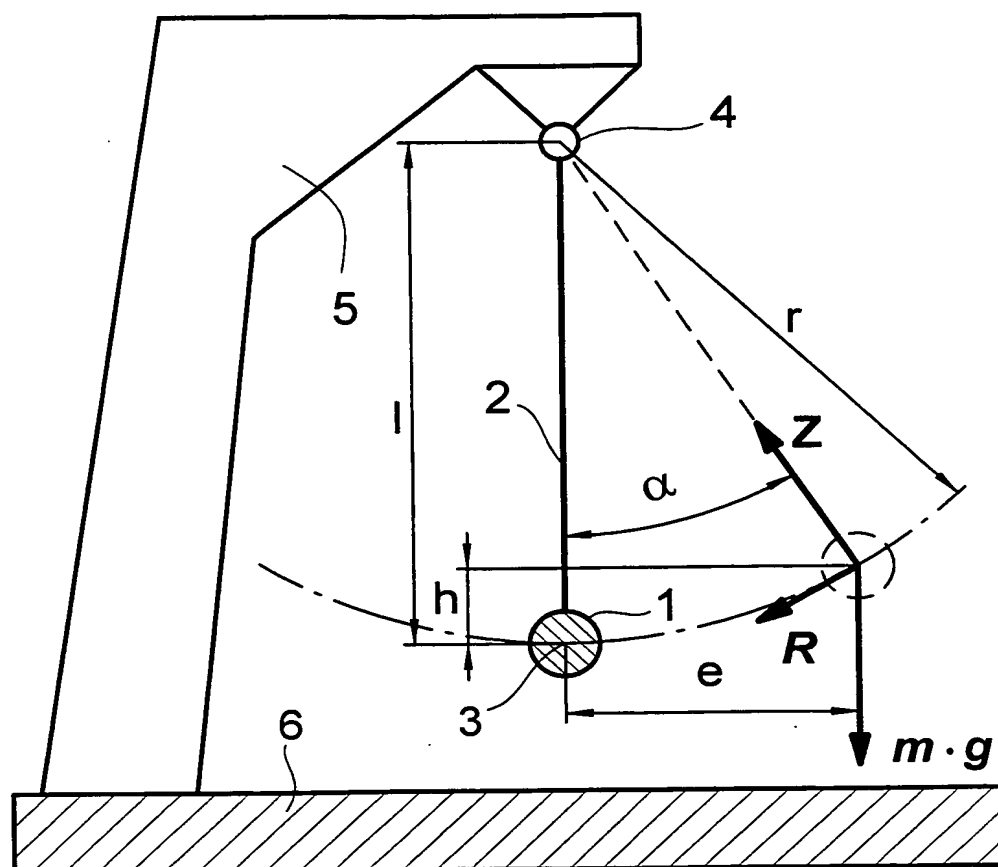
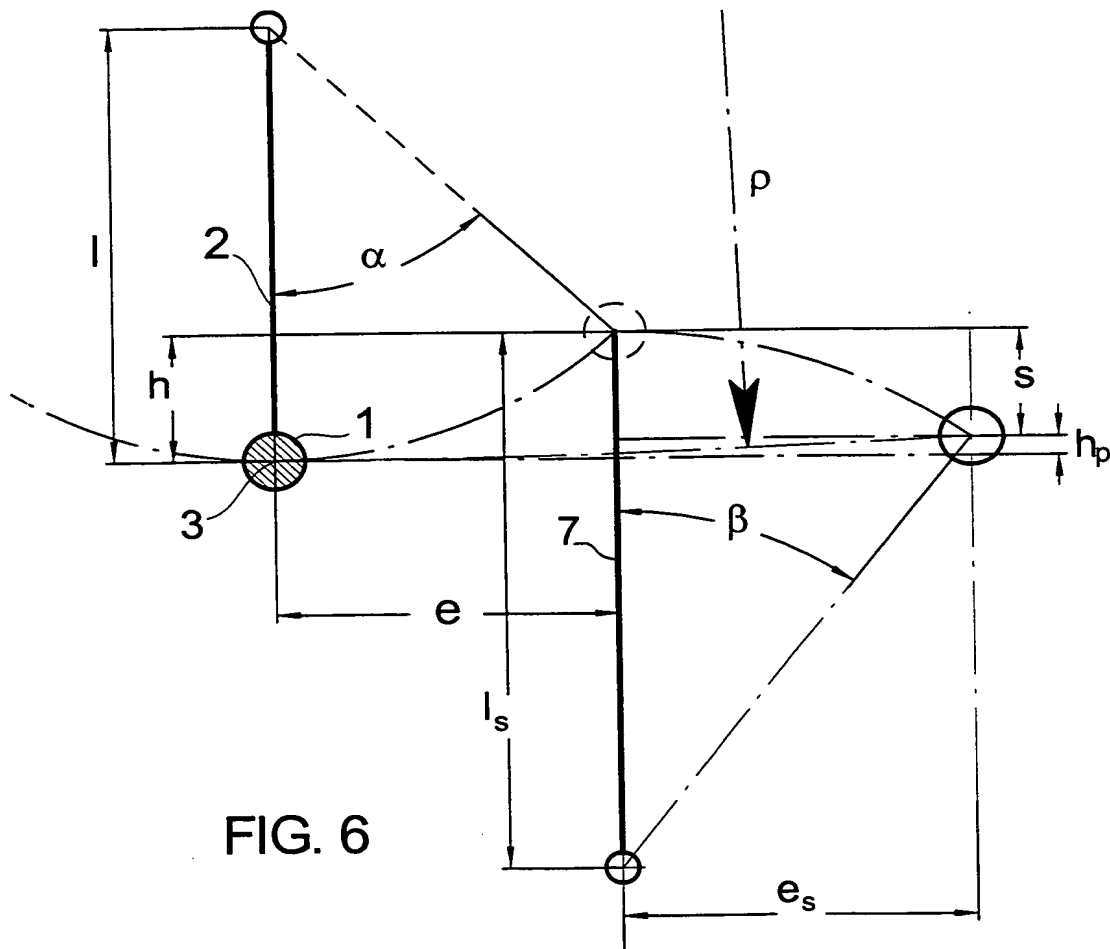


FIG. 5

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

4 / 70



GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

5 / 70

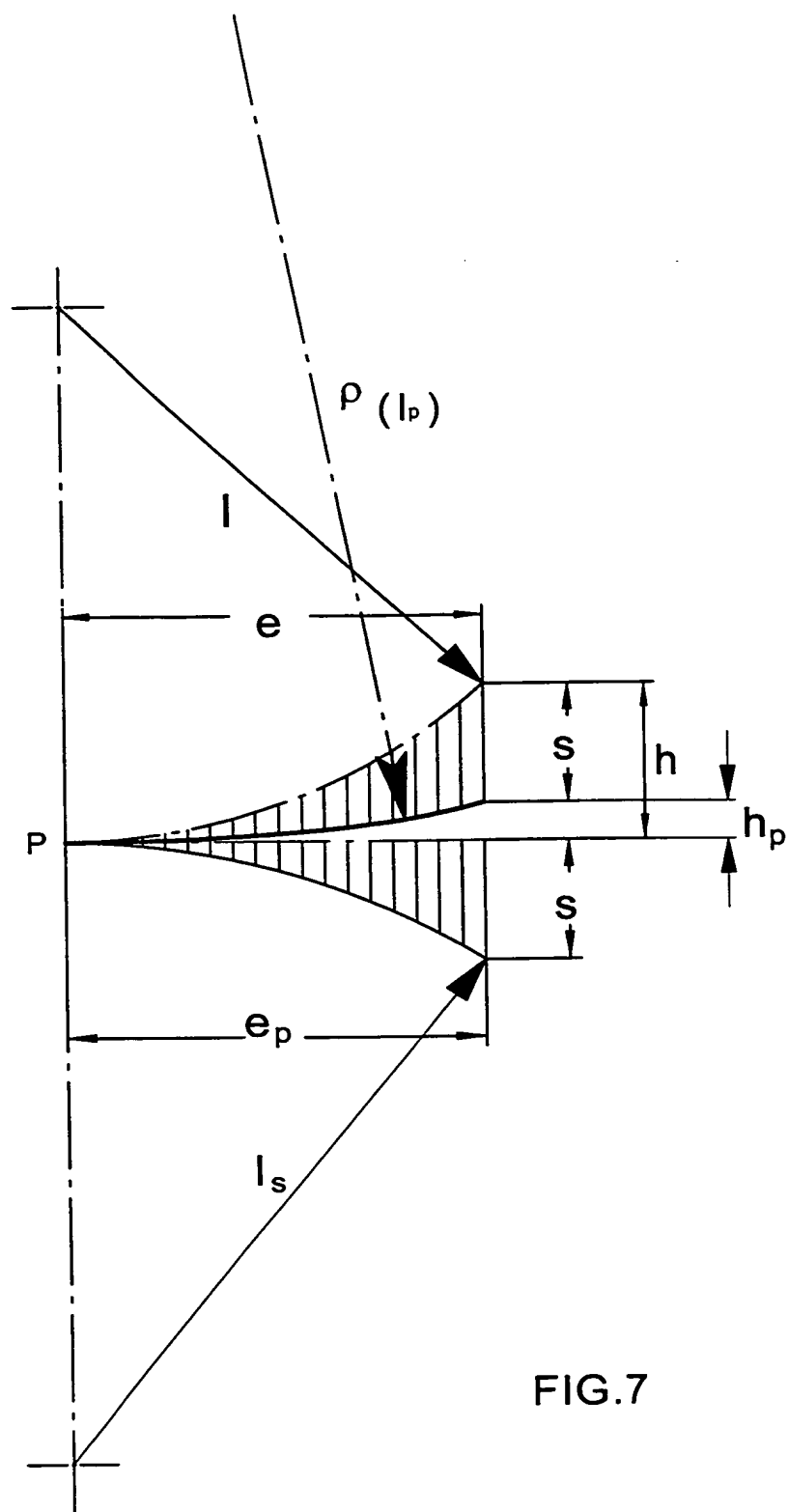


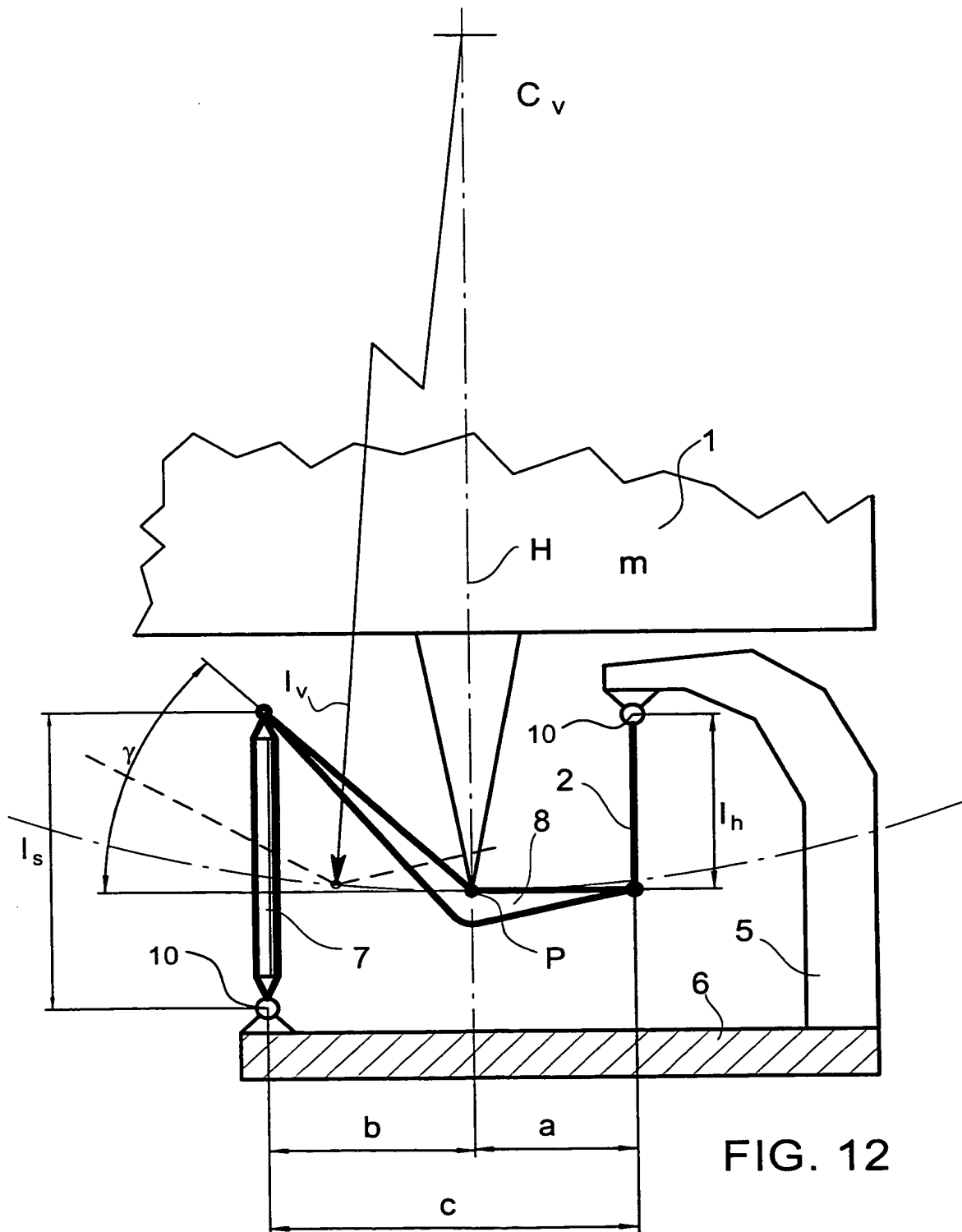
FIG.7

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP



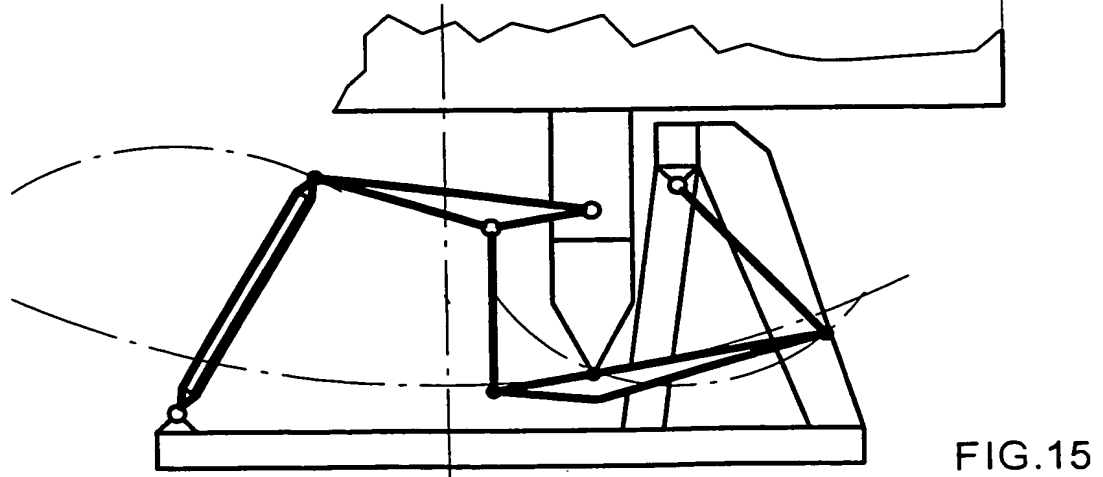
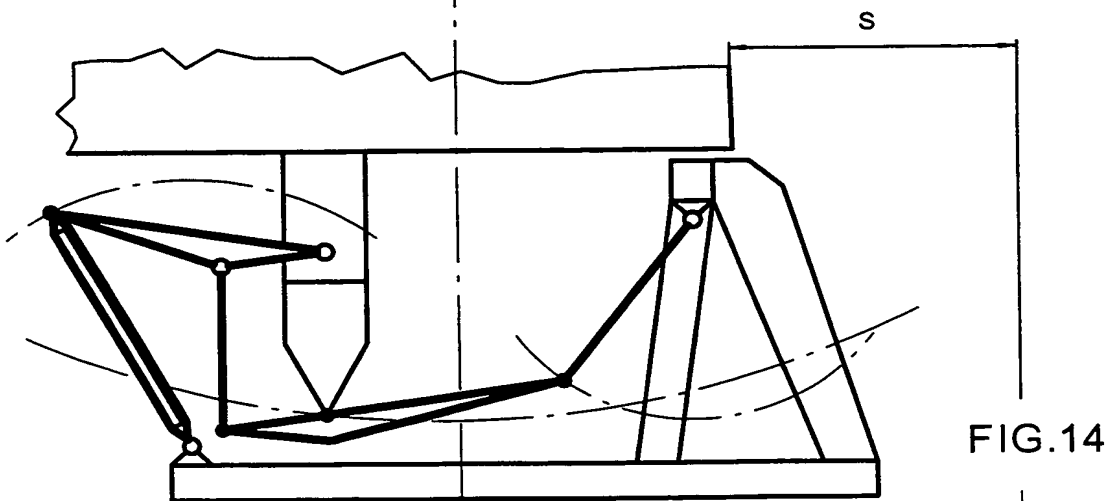
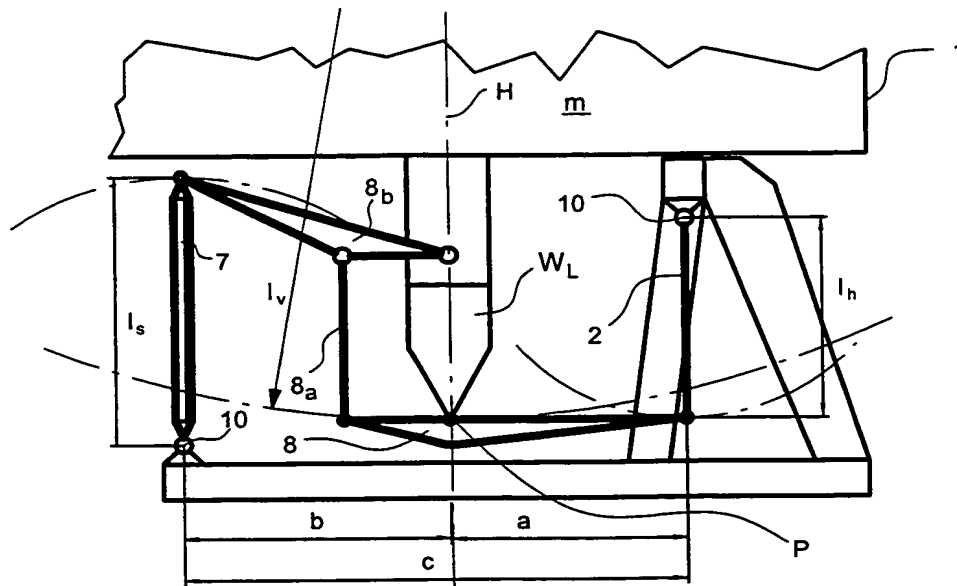


10 / 70



GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

11 / 70



GEÄNDERTES BLATT  
IPEVEP

12/70

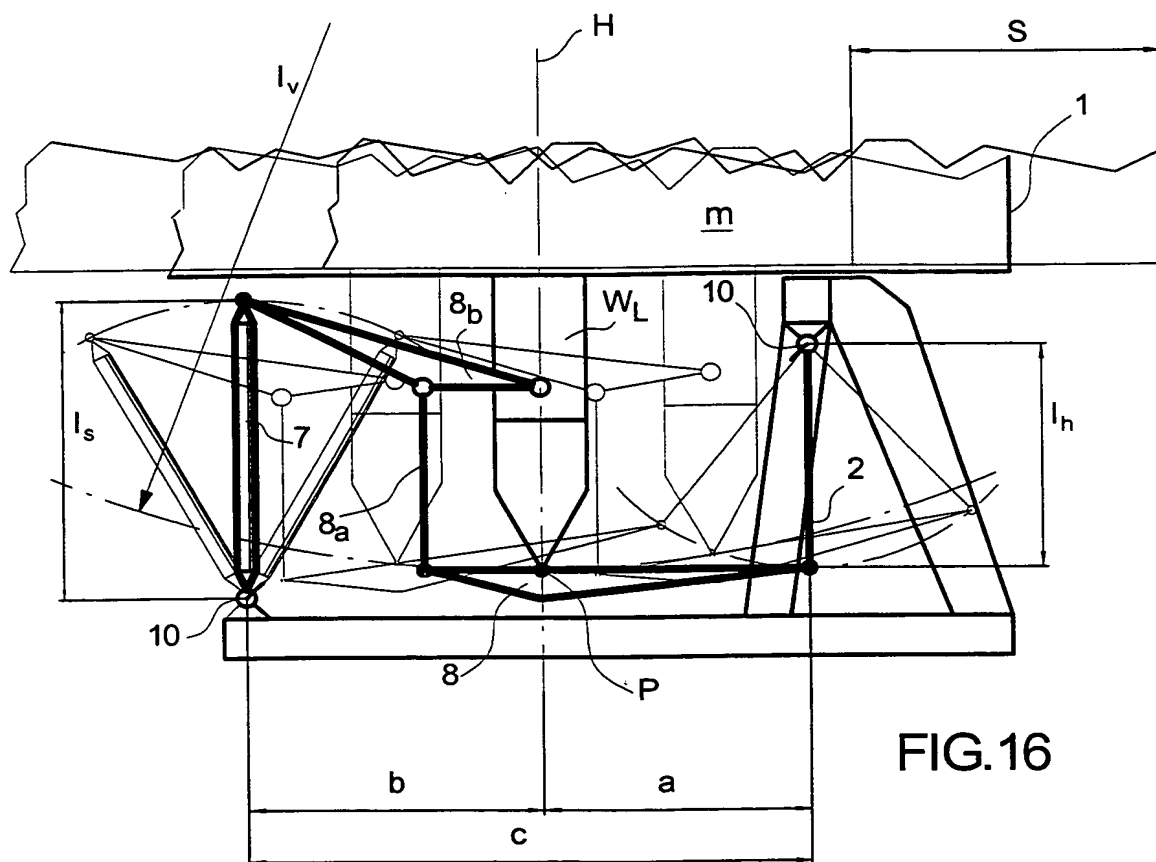
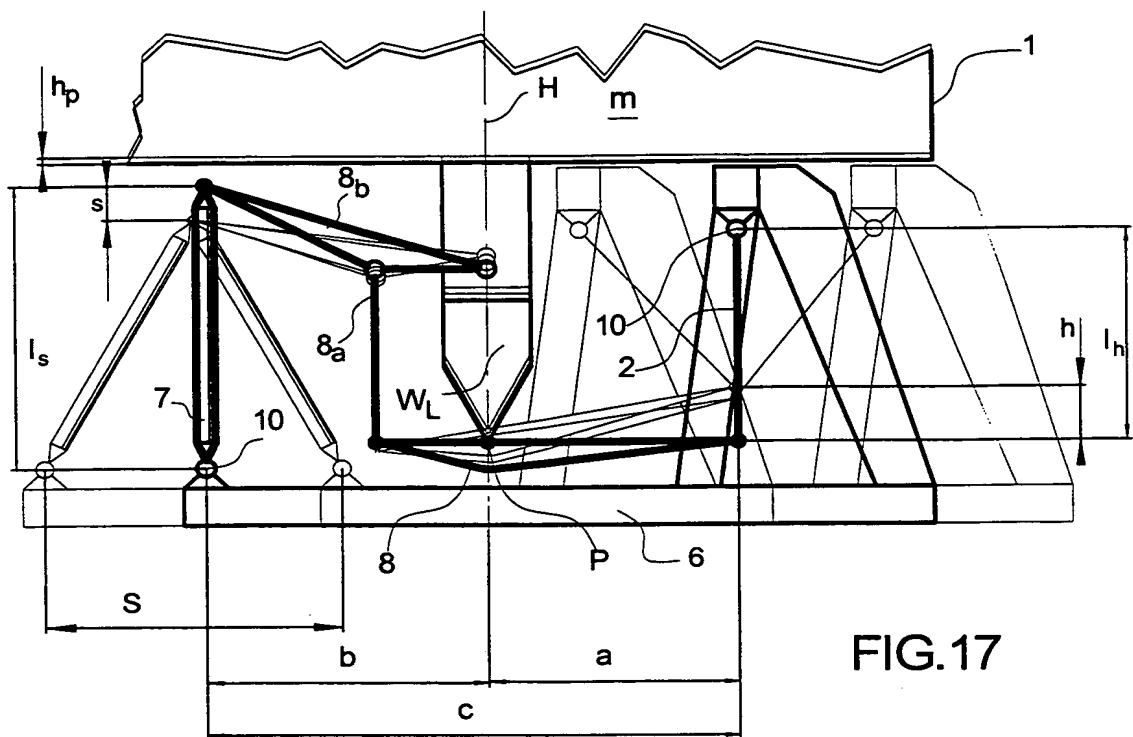


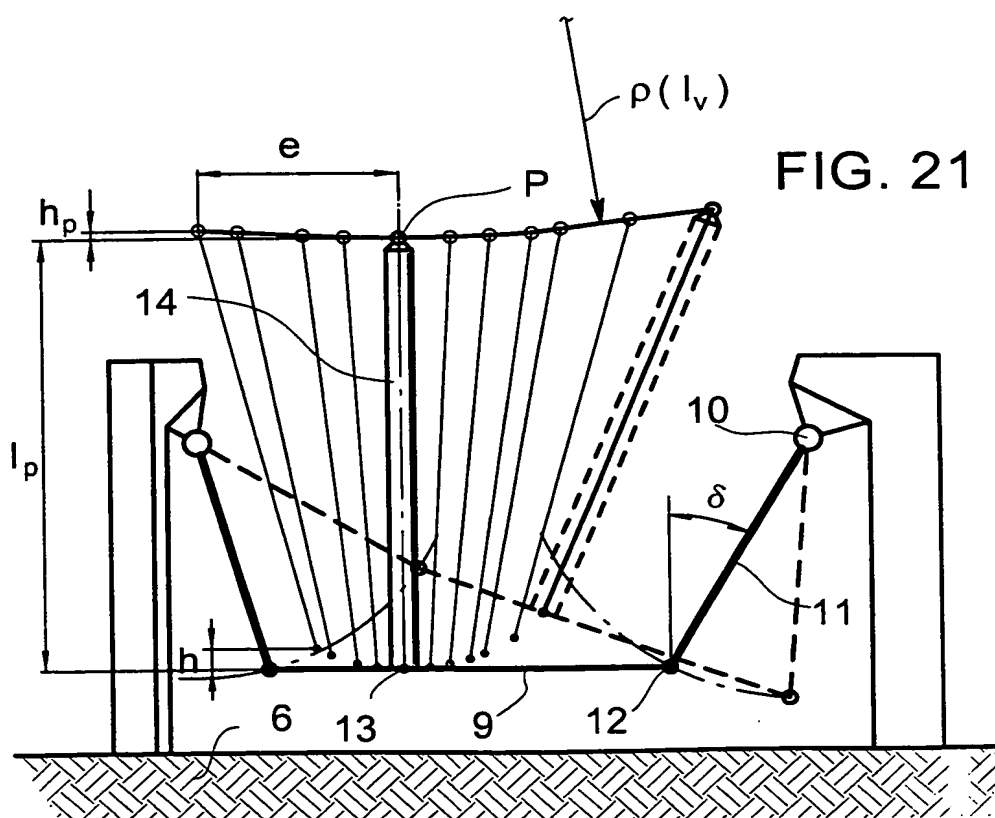
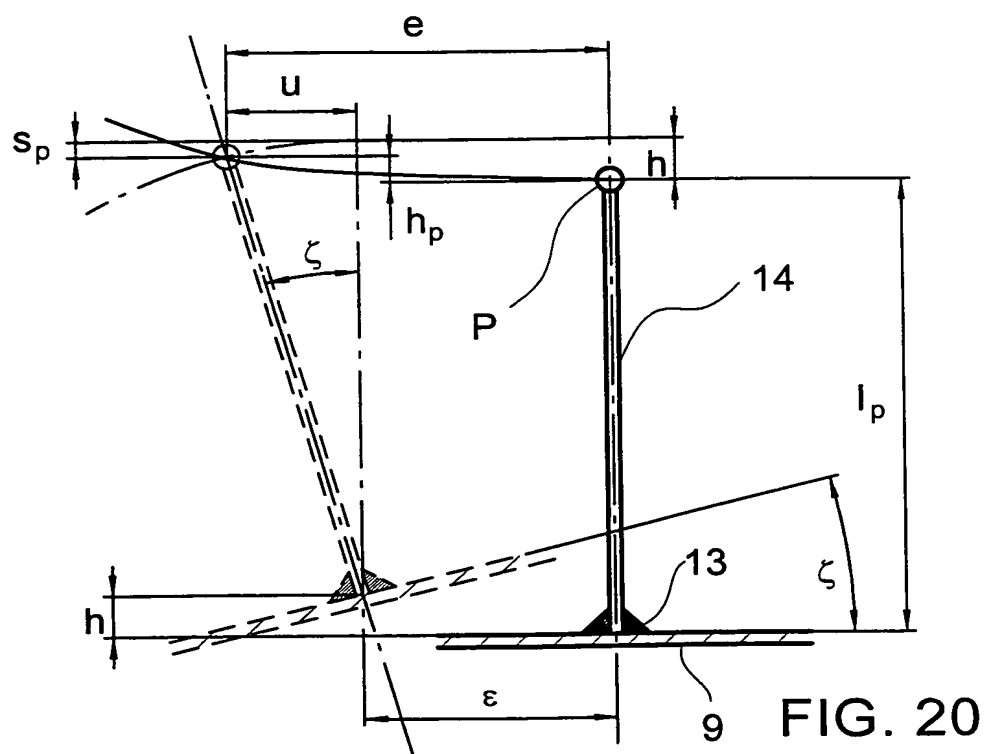
FIG.16

13/70



GEÄNDETTES BLATT  
IP/2/EP

15 / 70



GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

16 /70

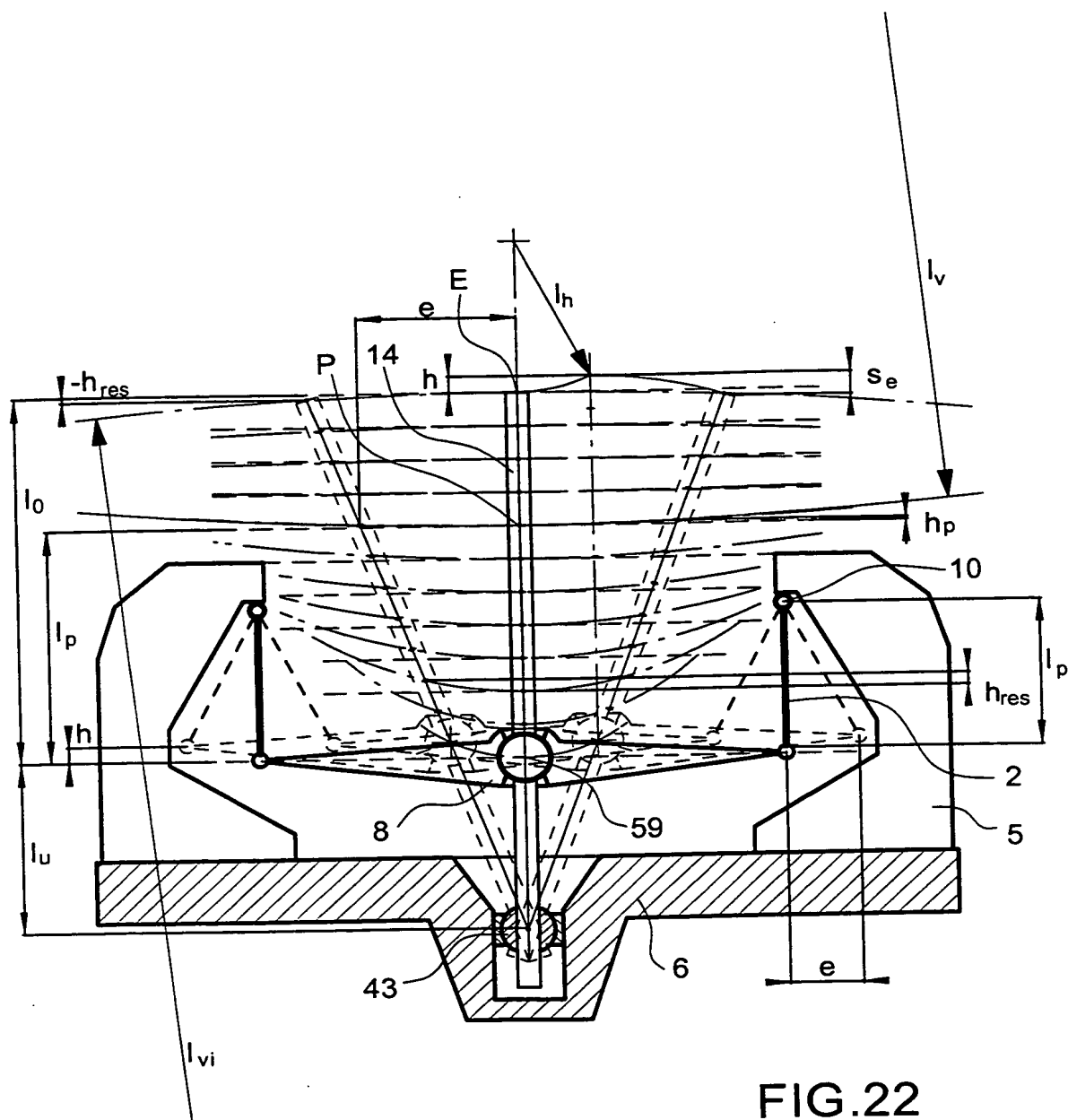


FIG.22

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

17 / 70

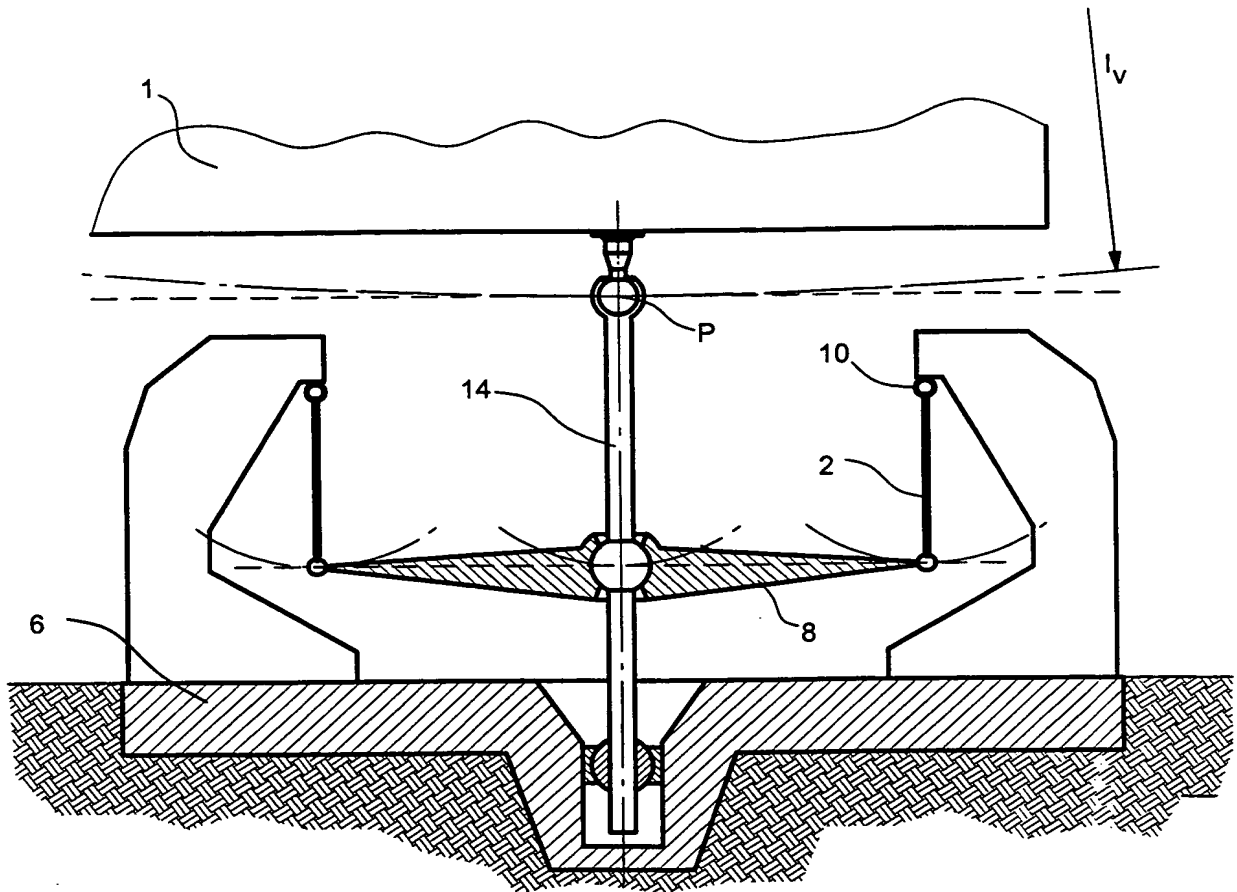


FIG.23

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

18 / 70

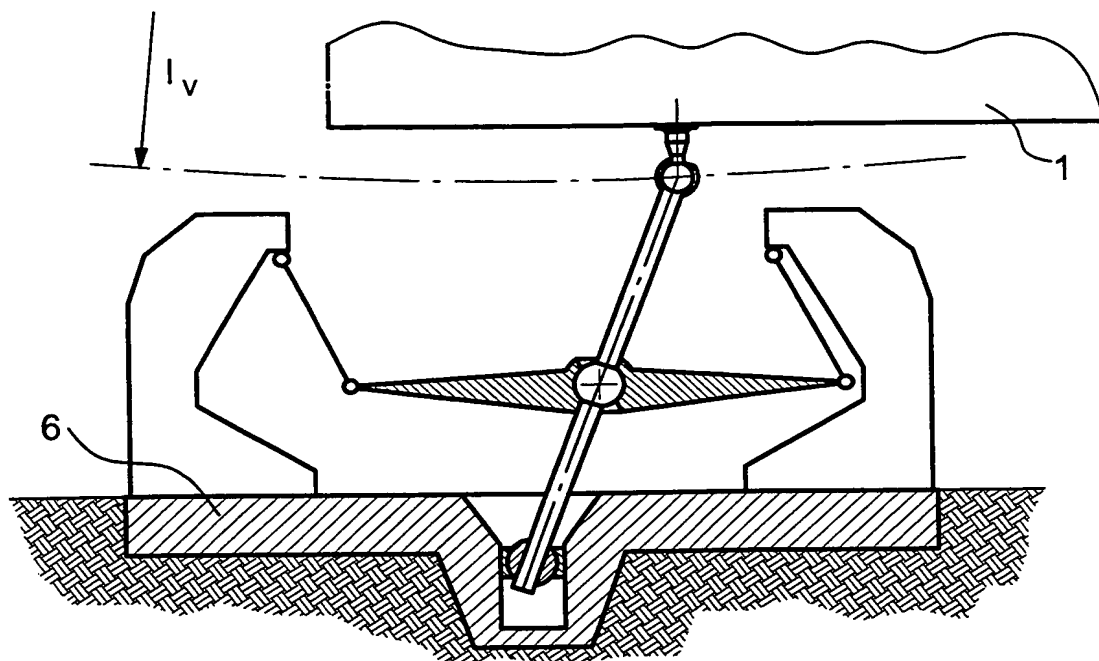


FIG. 23a

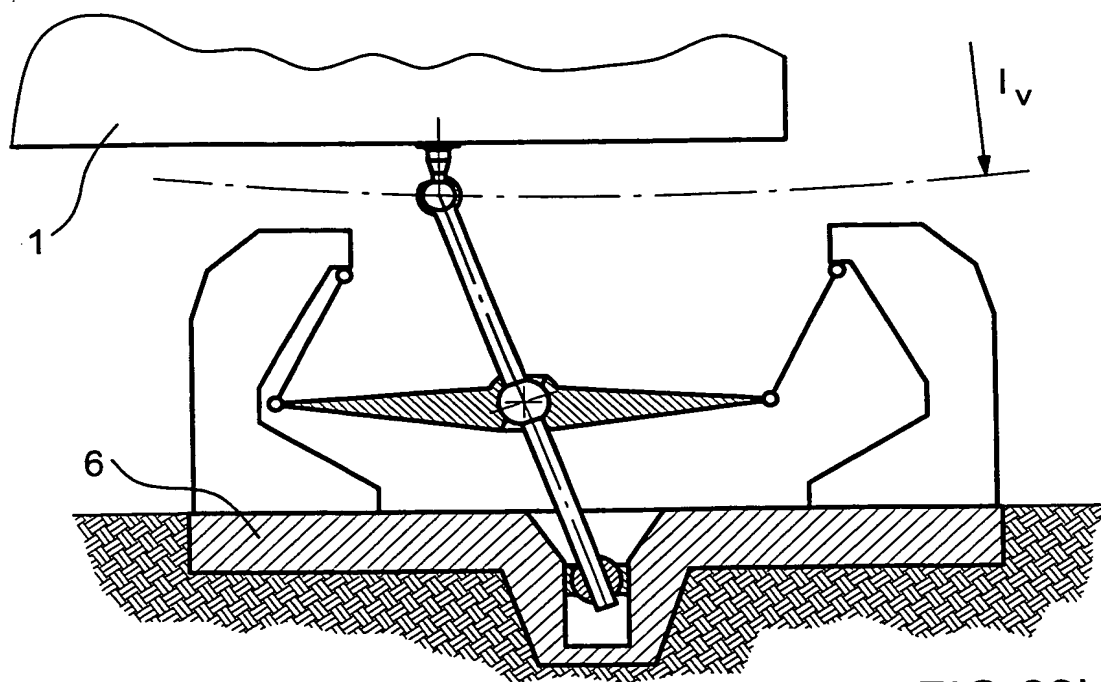
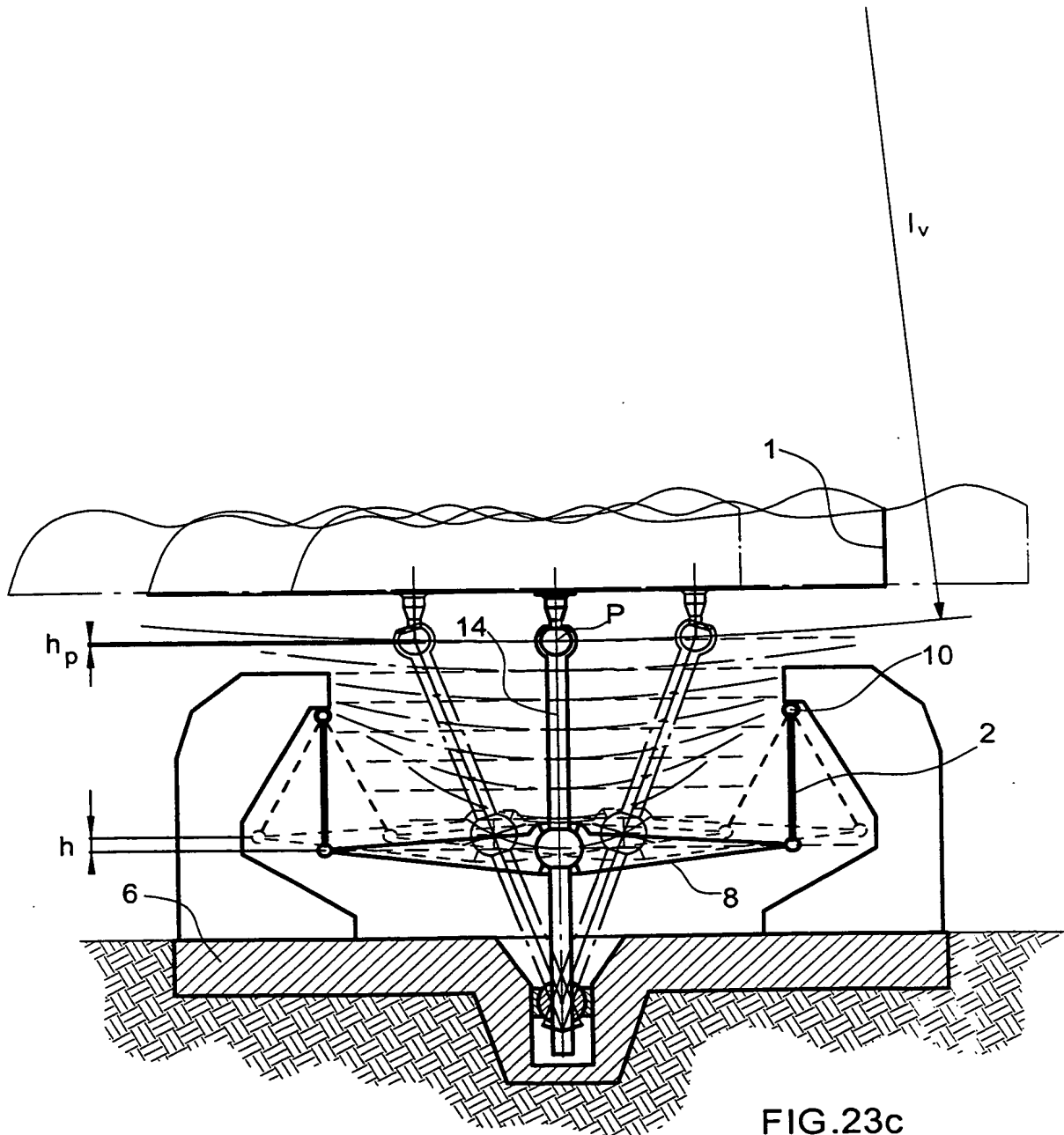


FIG. 23b

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP



19 /70



GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

21 / 70

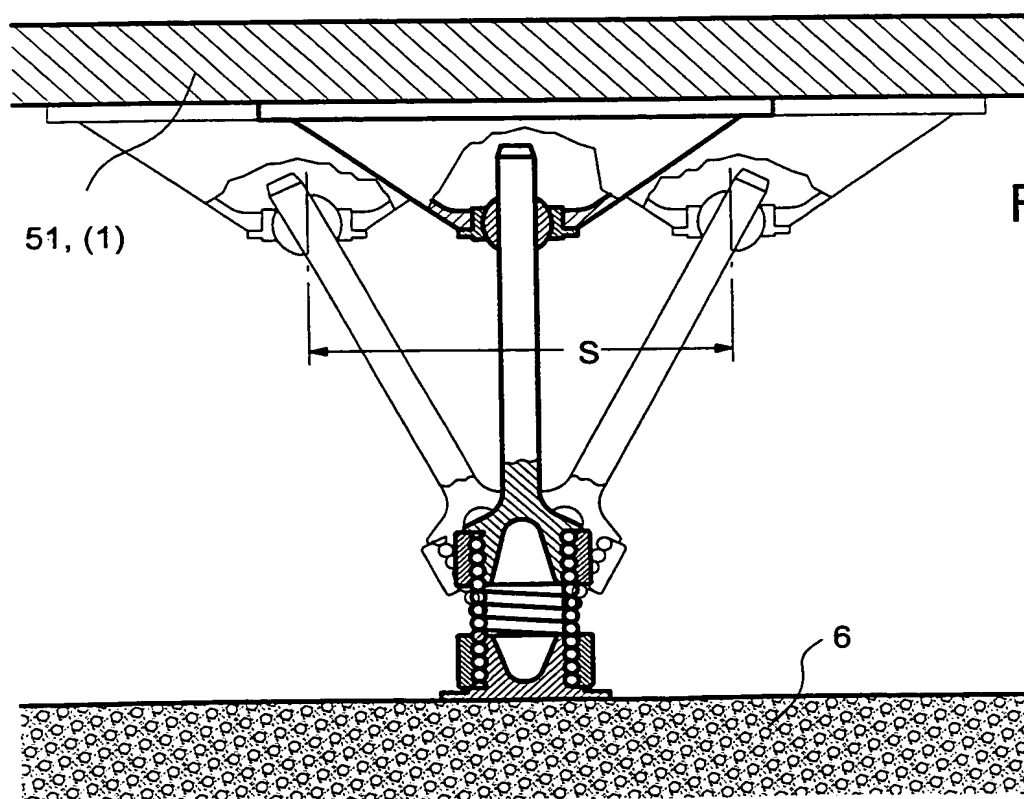
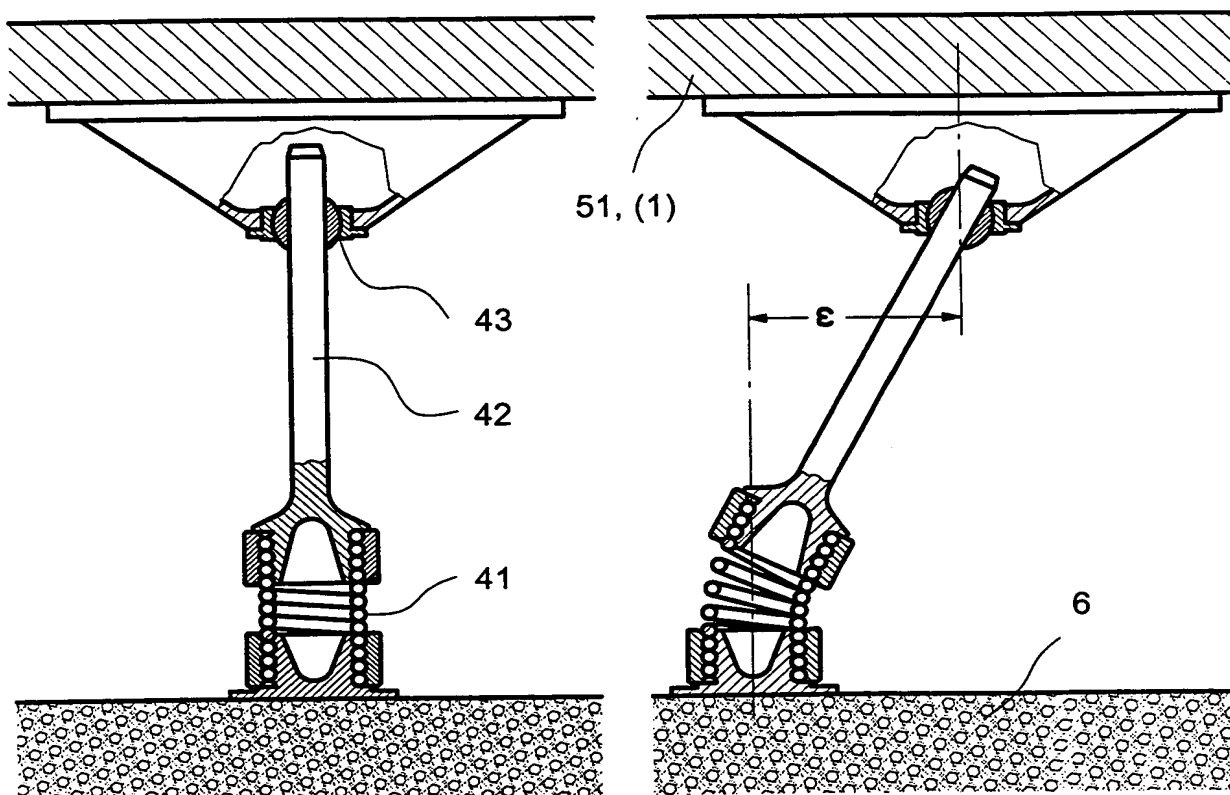


FIG. 25

GEÄNDERTES BLATT  
105 A / CD

22 / 70

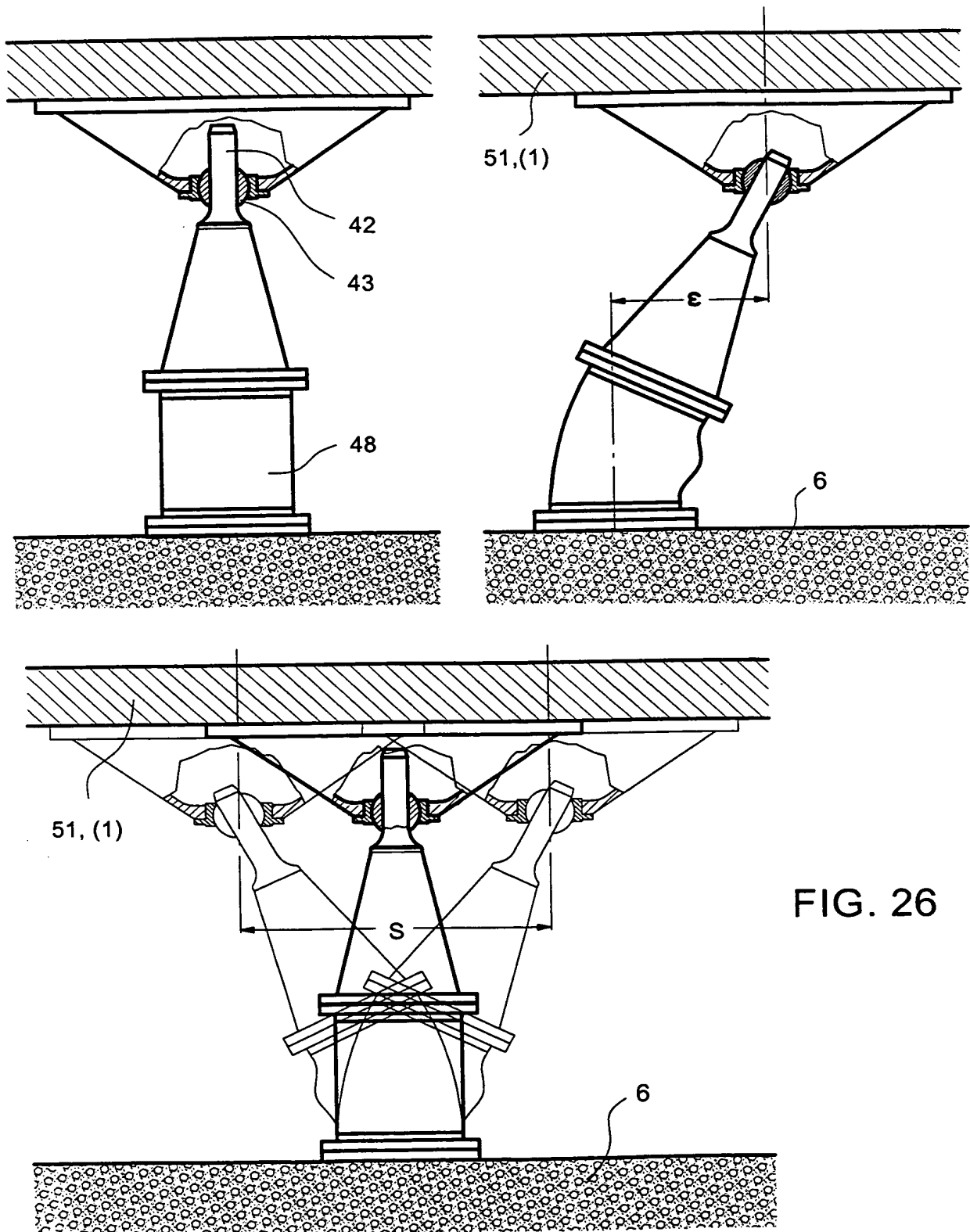


FIG. 26

27 170

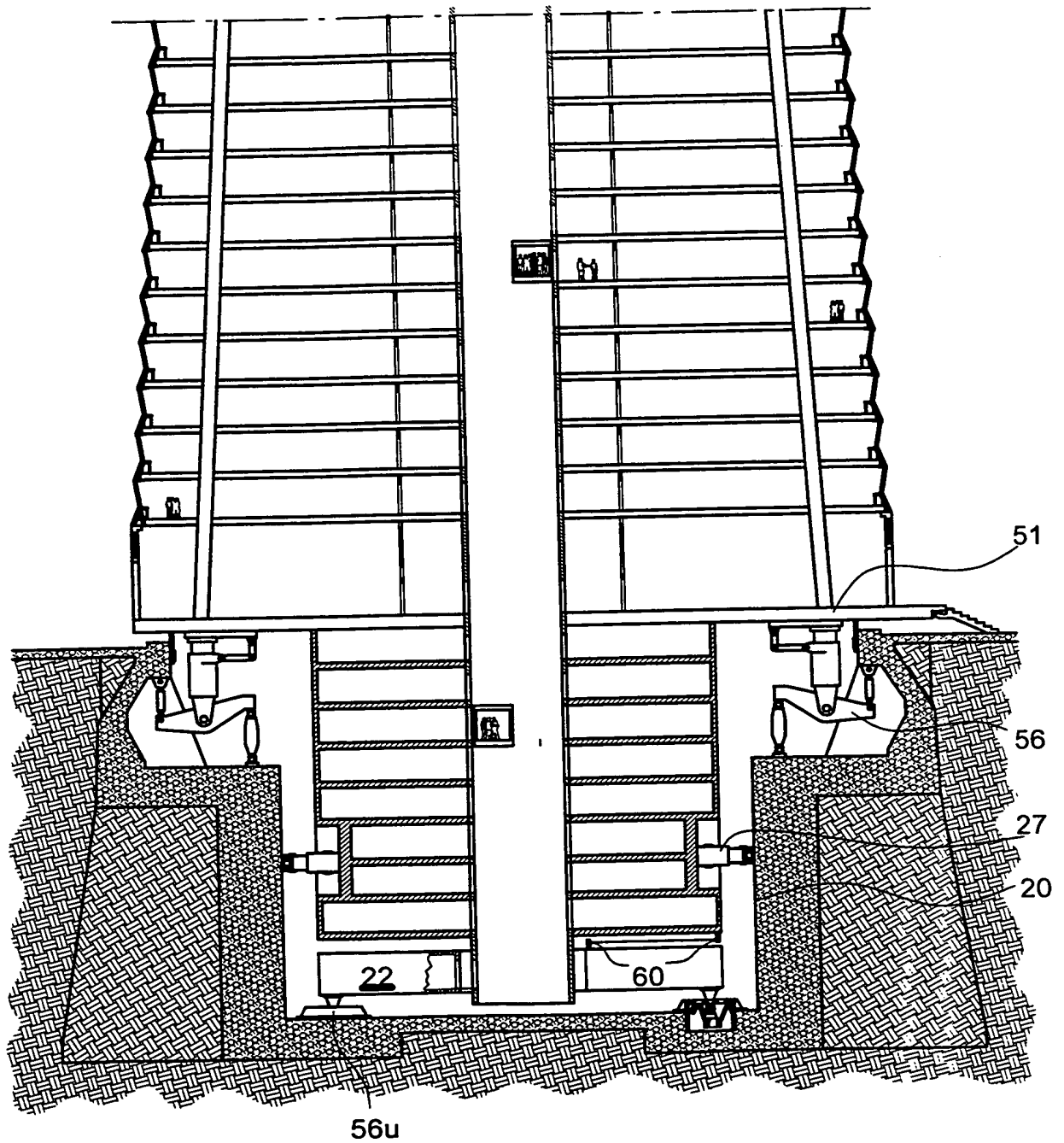


FIG.31

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

28 /70

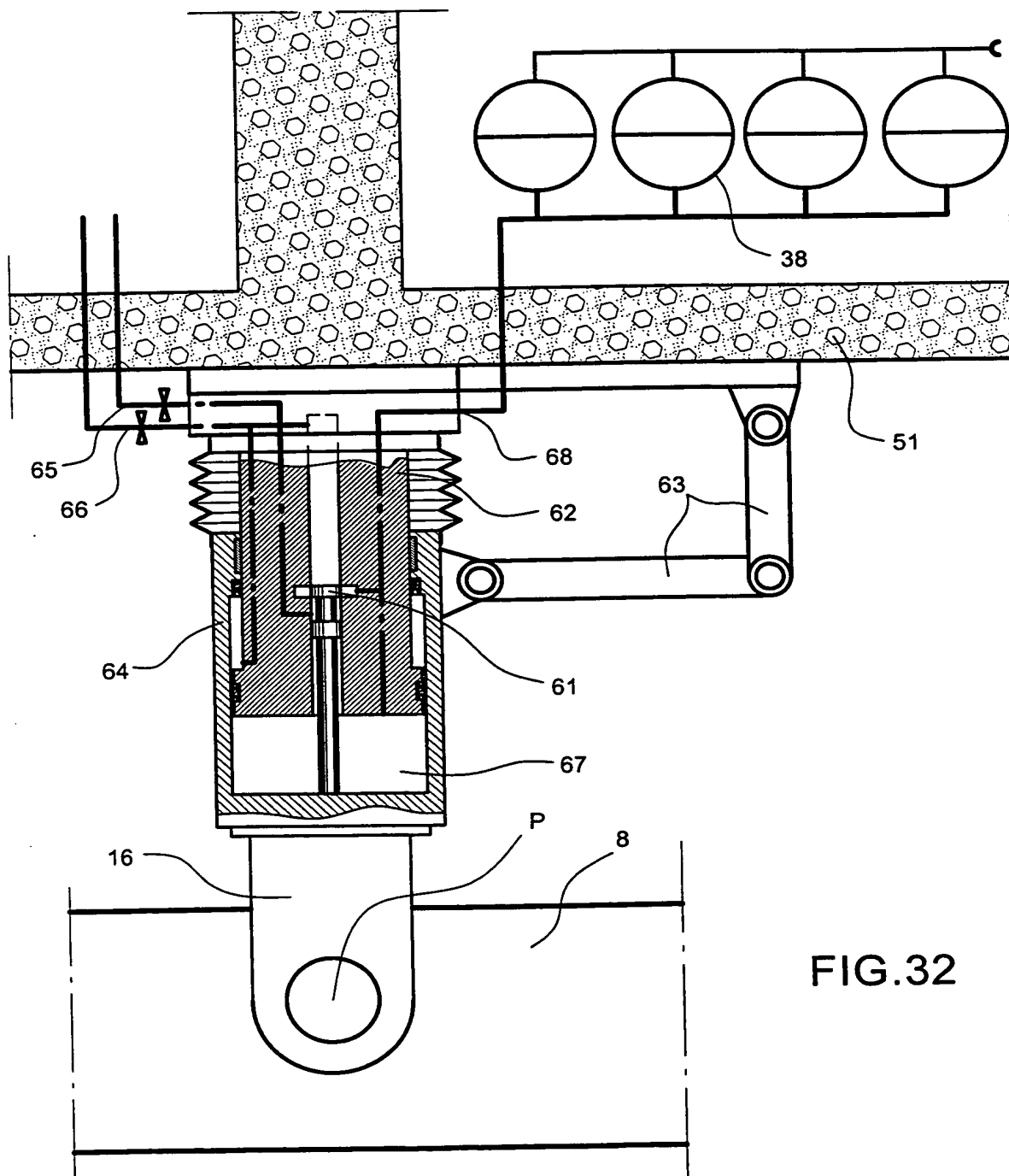


FIG.32

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

35 /70

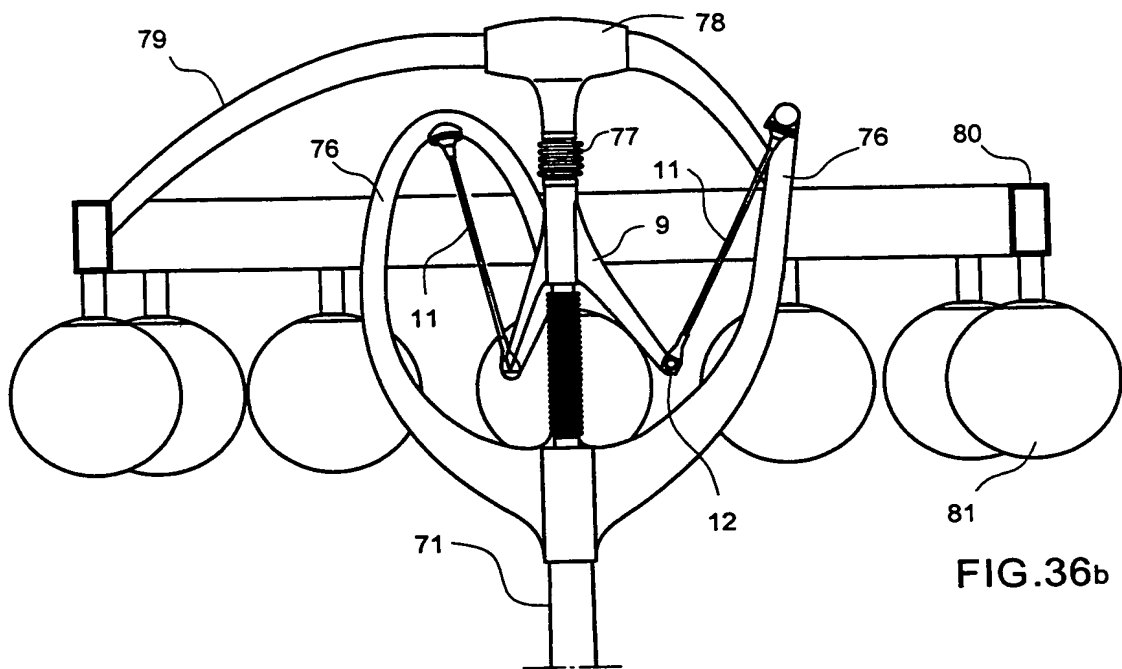


FIG. 36b

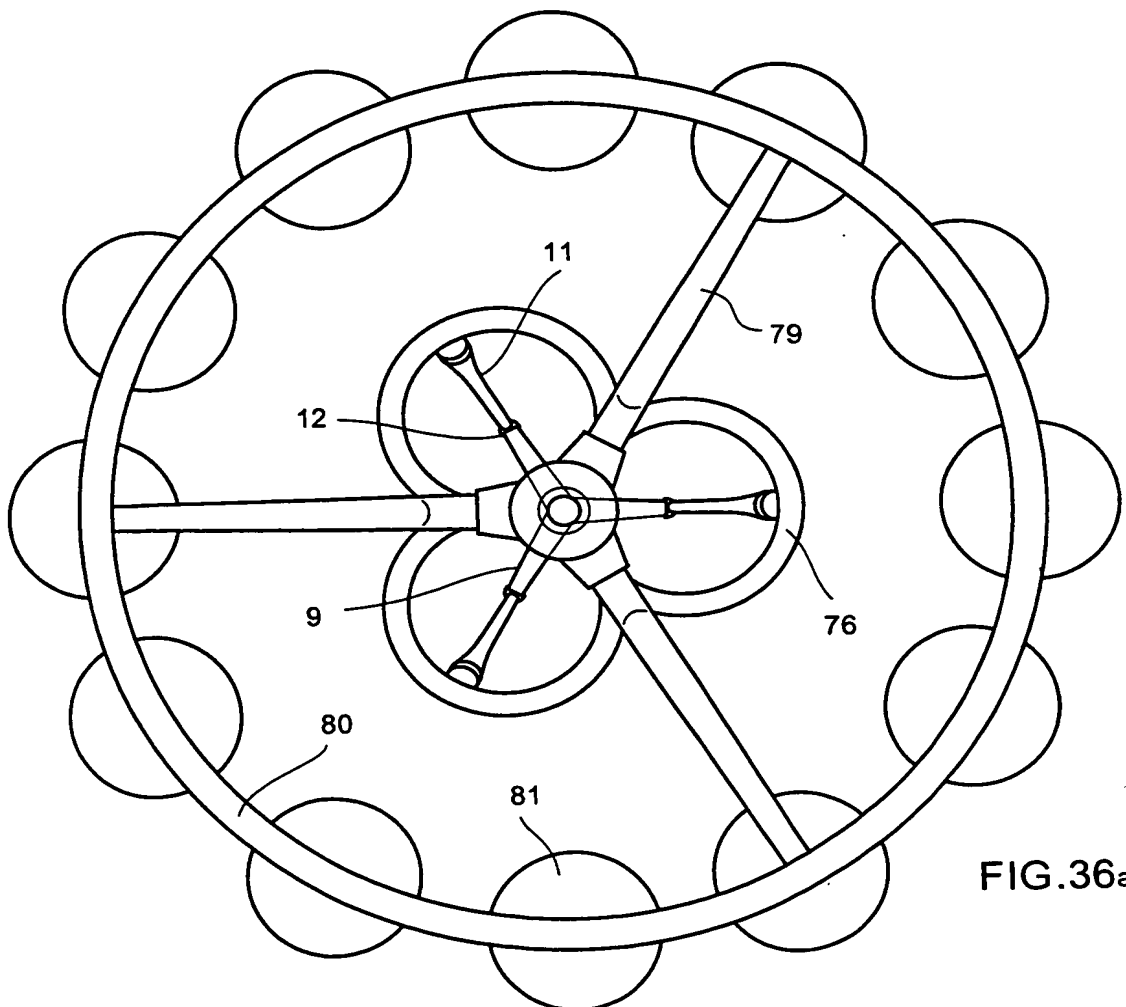


FIG. 36a

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

36 / 70

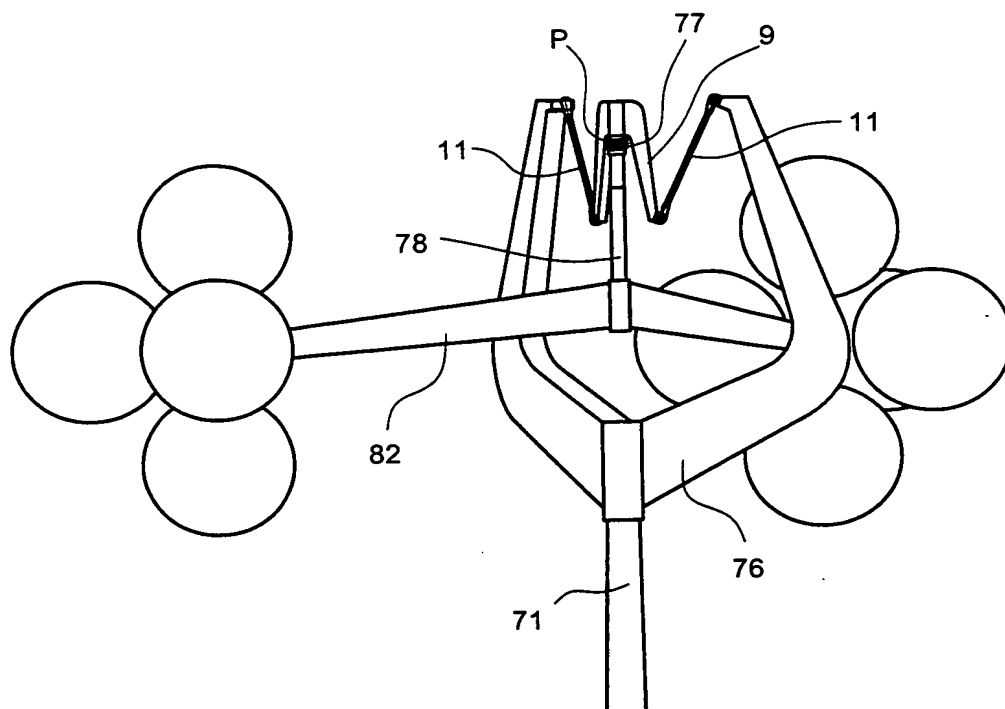
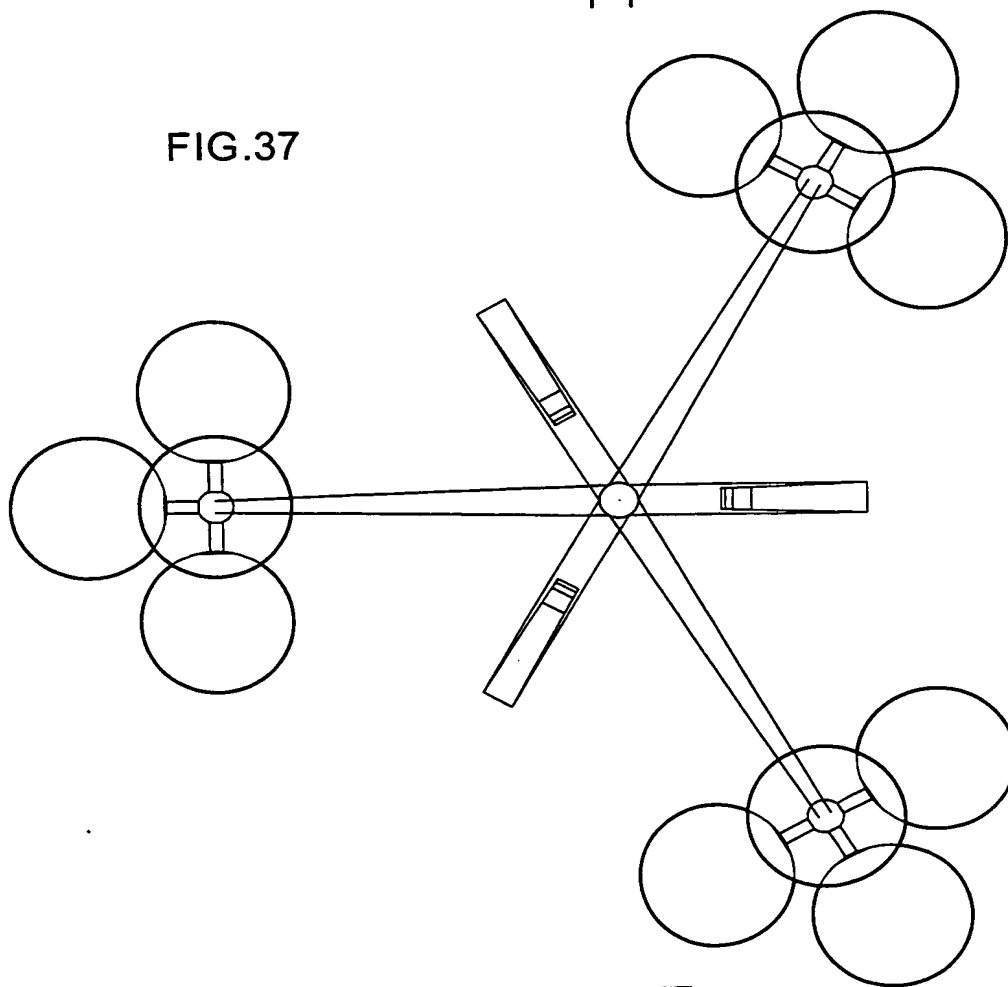


FIG.37



GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

37 / 70

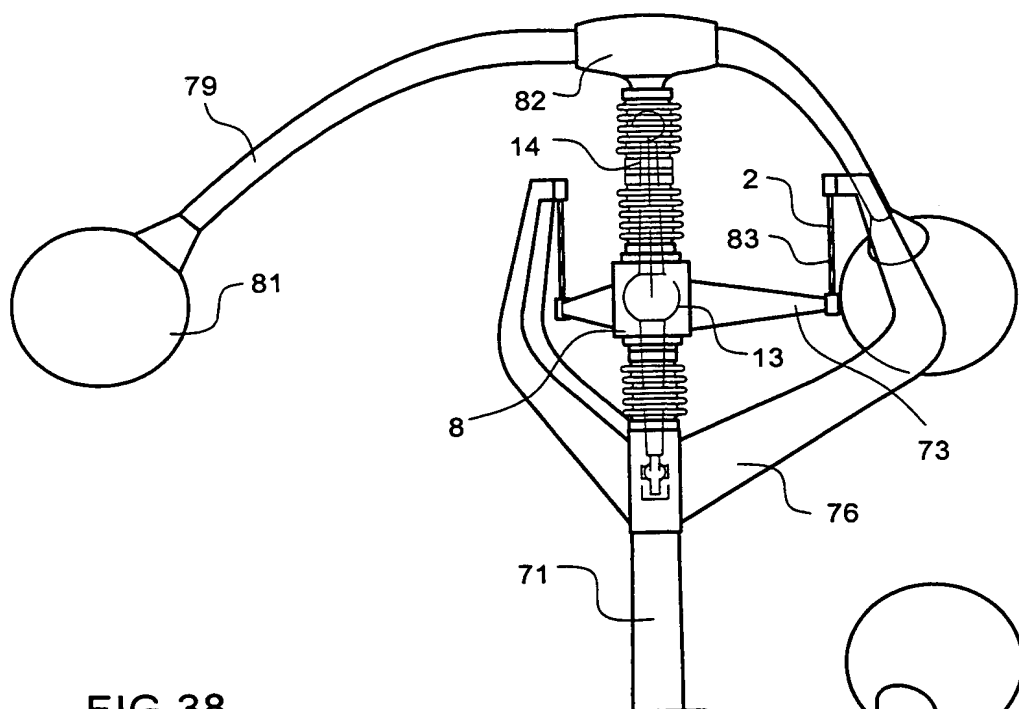
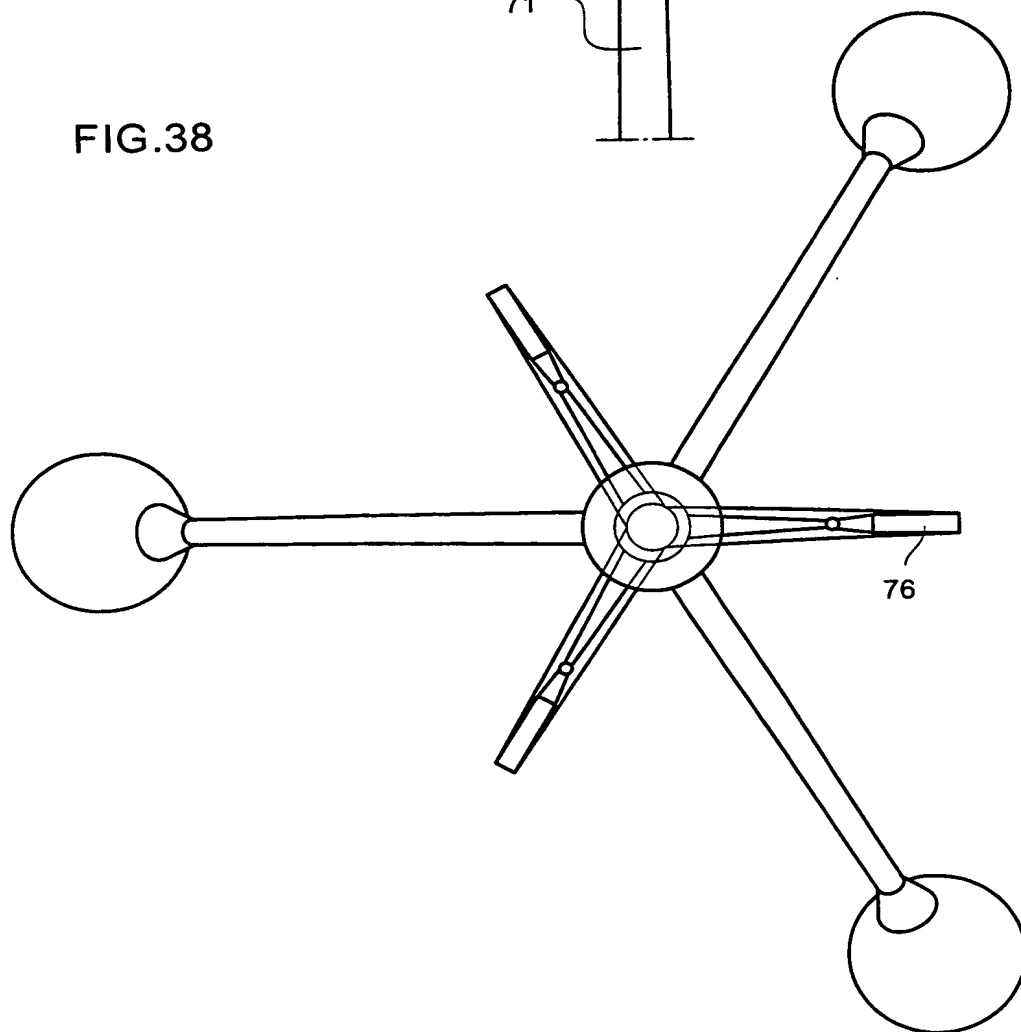


FIG.38



GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP



38 /70

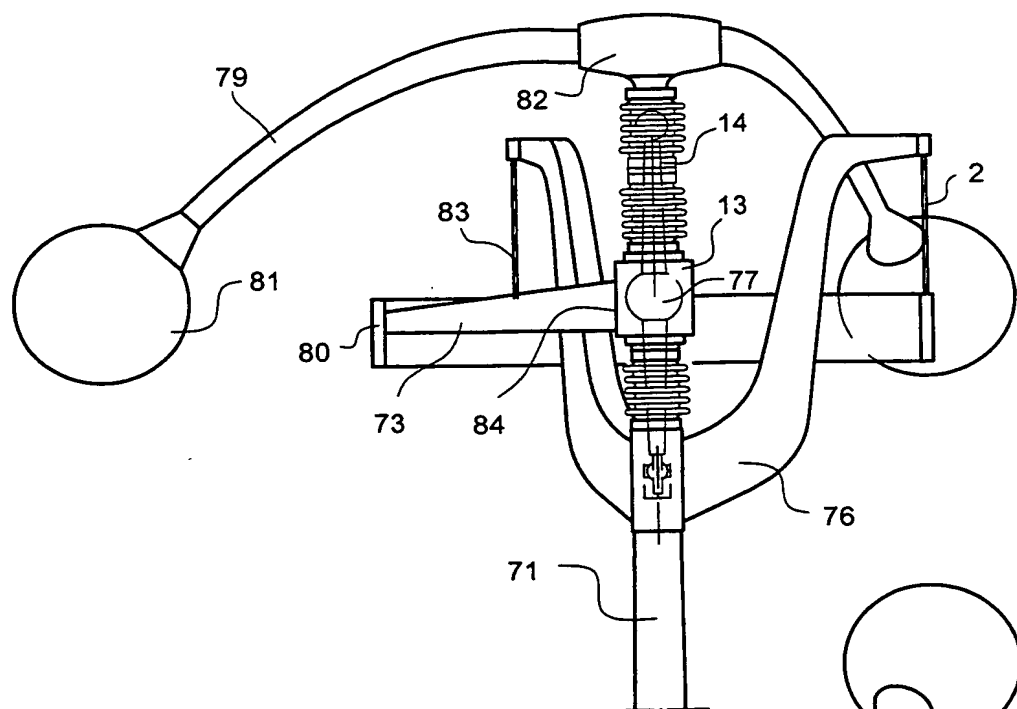
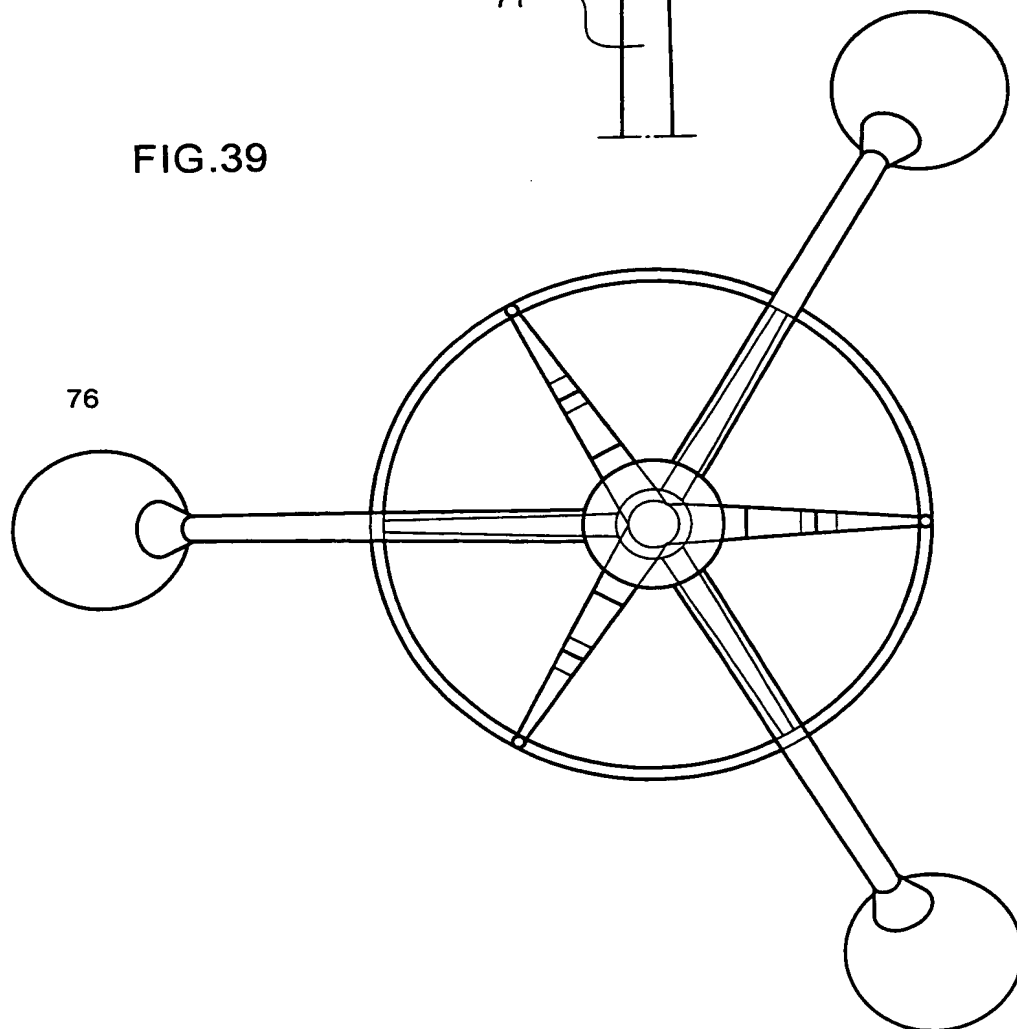


FIG.39



GEÄNDERTES BLATT  
DRAWING

39 /70

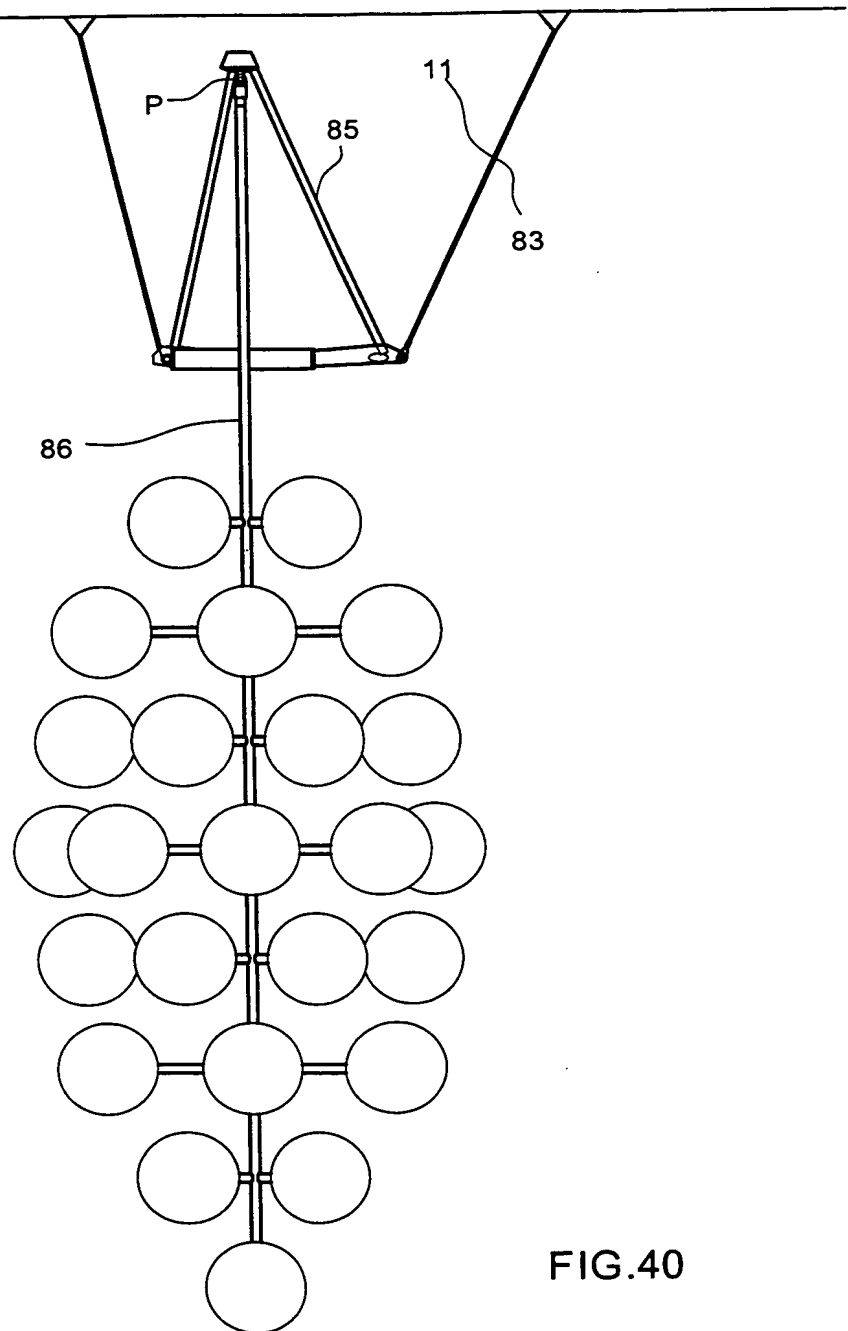


FIG.40

40 / 70

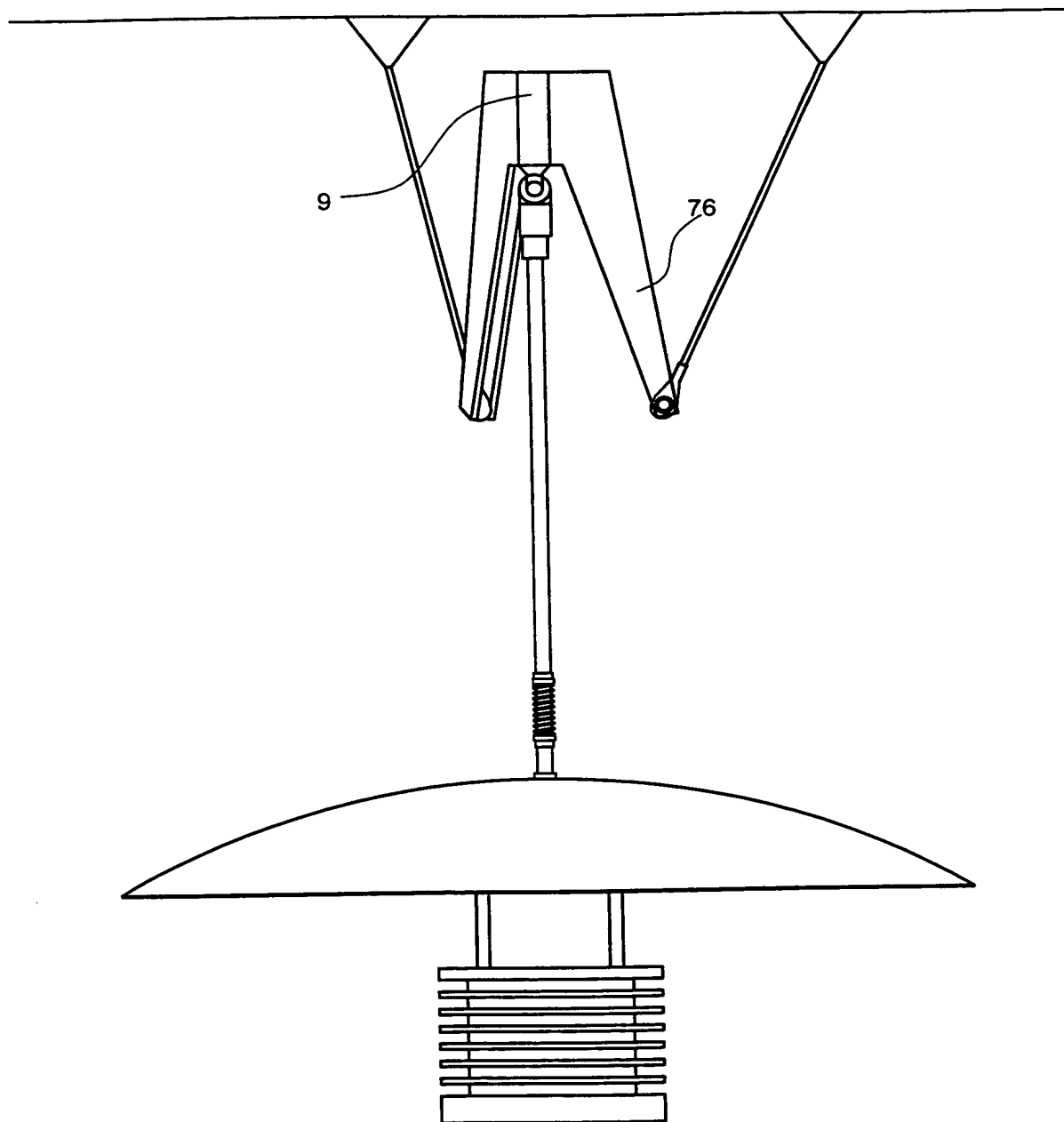


FIG.41

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

41 /70

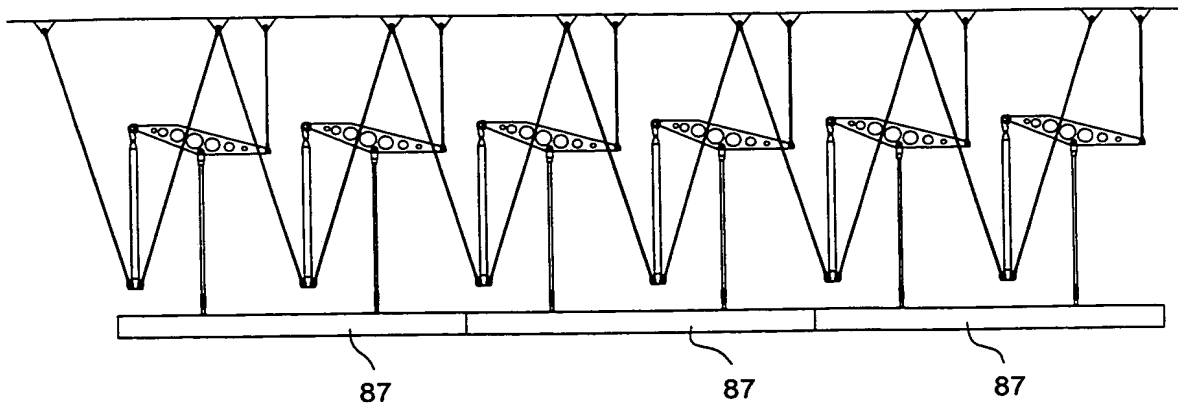
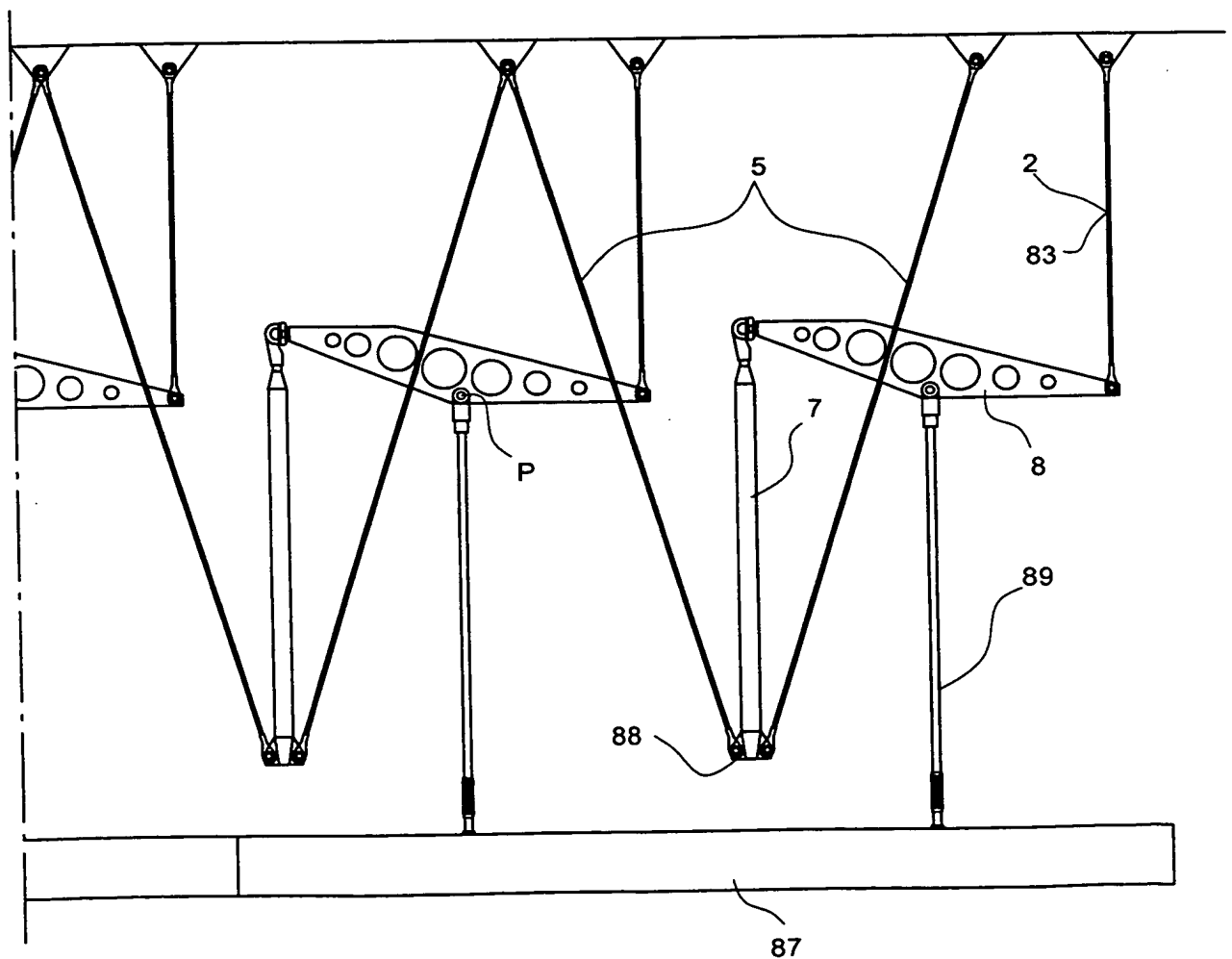


FIG.42



GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

52 /70

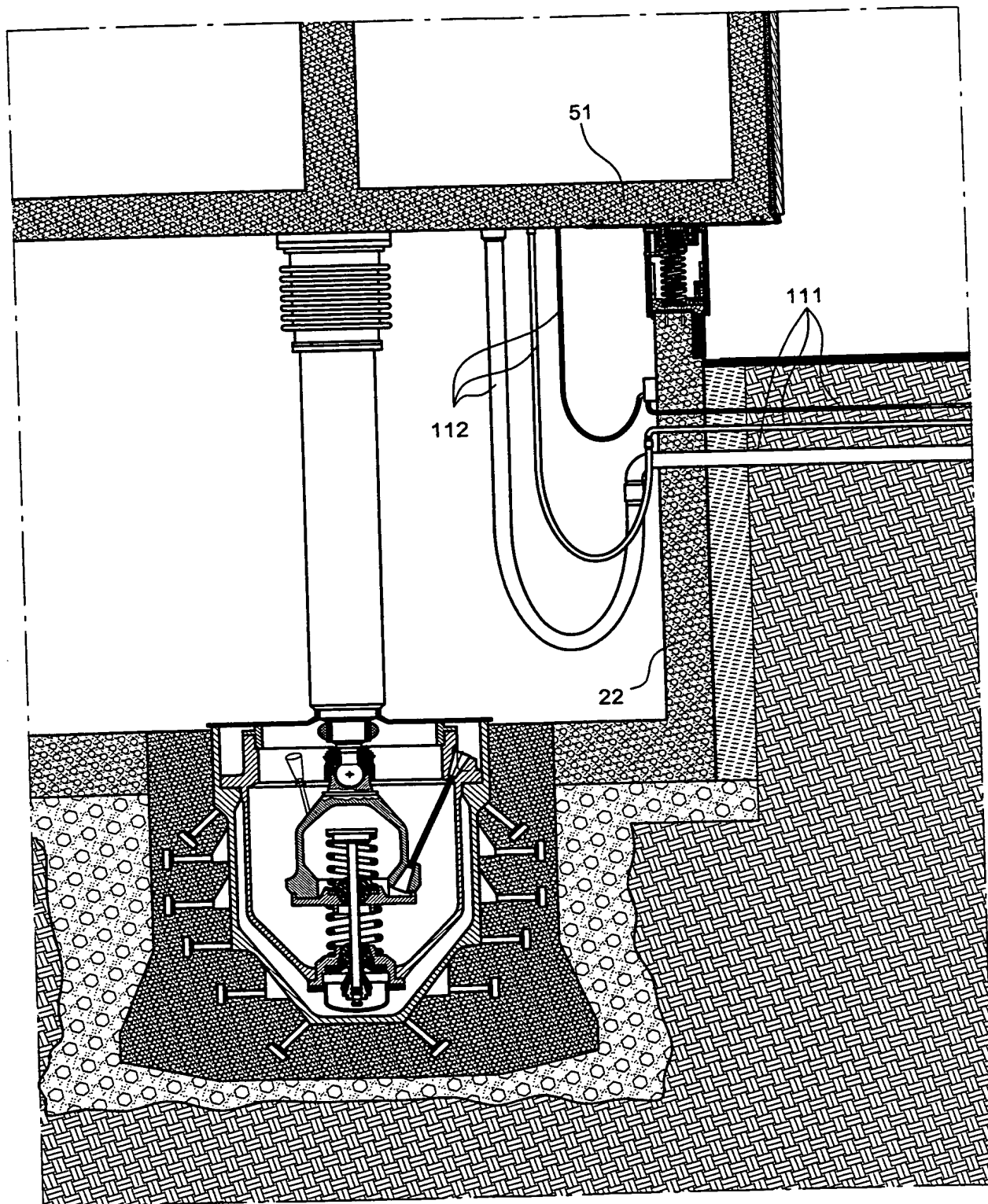


FIG.53  
GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP

53 /70

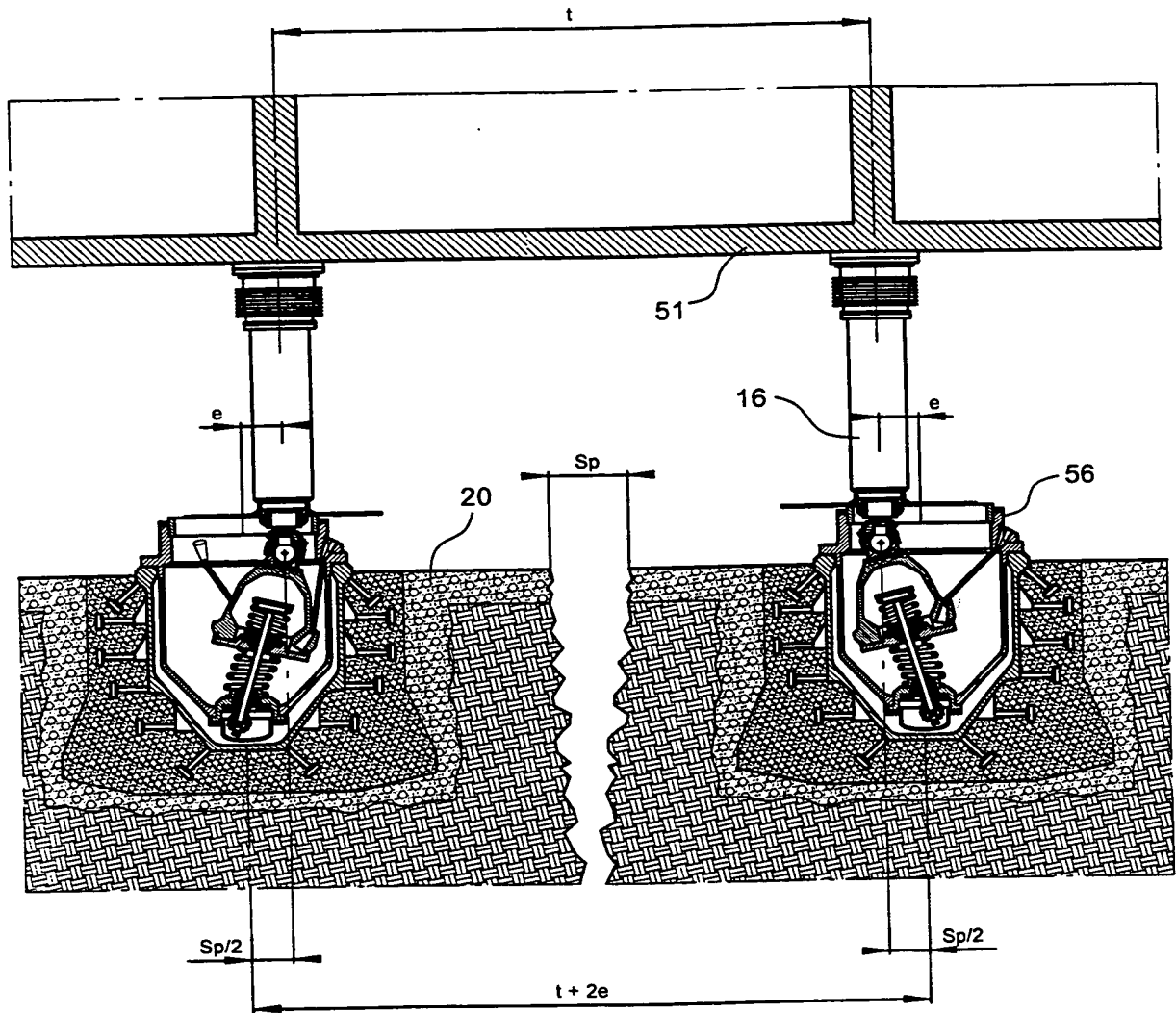


FIG.54

GEÄNDERTES BLATT  
IPEA/EP